

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Využití a integrace zařízení Smart Home

Utilization and Integration of Smart Home Devices

Zadání bakalářské práce

Student:

Daniel Škrob

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

Využití a integrace zařízení Smart Home
Utilization and Integration of Smart Home Devices

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je zmapovat možnosti dostupných zařízení pro Smart Home a ilustrovat implementaci jejich využití a integrace.

1. Popište problematiku Smart Home, a to s důrazem na platformu ZigBee.
2. Prostudujte a popište způsob komunikace a možnosti řízení konkrétních zařízení v rámci dané platformy.
3. Otestujte platformu IKEA Smart Home a její možnosti propojení s platformou .NET.
4. Navrhněte případovou studii, která bude ilustrovat možnosti ovládání zařízení prostřednictvím platformy IKEA.
5. Implementujte aplikaci ukazující možnosti platformy.
6. Zhodnoťte tuto vybranou platformu.

Seznam doporučené odborné literatury:

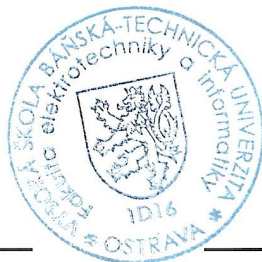
- [1] Michael Young: Smart Home: Digital Assistants, Home Automation, and the Internet of Things, Independently published, 2018, ISBN: 978-1791617479
- [2] Chonggang Wang, etc.: ZigBee® Network Protocols and Applications, Auerbach Publications, 2014, ISBN: 978-1439816011
- [3] Sean Burns: Hands-On Network Programming with C# and .NET Core: Build robust network applications with C# and .NET Core, Packt Publishing, 2019, ISBN: 978-1789340761

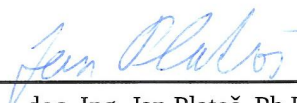
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Radecký, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020




doc. Ing. Jan Platoš, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 15. Května 2020


.....

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 15. Května 2020


.....

Děkuji vedoucímu bakálářské práce panu Ing. Michalu Radeckému Ph.D. za cenné rady a připomínky při konzultacích.

Abstrakt

Tato práce vysvětluje, co je to chytrá domácnost a jakým způsobem zefektivňuje každodenní a stereotypní záležitosti. Dále práce obsahuje technické informace o standardu ZigBee a podrobně se zabývá popisem jednotlivých zařízení platformy TRÅDFRI od firmy IKEA. V další části se práce popisuje základní funkce, které obsahuje knihovna CSharpTradFriLibrary od uživatele tomidix. Tato knihovna je následovně použita při implementaci webové aplikace pro komunikaci s domácí stanicí chytré domácnosti. V poslední části práce srovnává a zhodnocuje platformu TRÅDFRI a standard ZigBee.

Klíčová slova: ZigBee, Chytrá domácnost, C#, .NET Framework, ASP.NET, CoAP

Abstract

This thesis explains what a Smart Home is and how it streamlines everyday and stereotypical issues. Furthermore, the thesis contains technical information about the ZigBee standard and deals in detail with the description of individual devices of the TRÅDFRI platform from the company IKEA. The next part describes the basic functions that are part of CSharpTradFriLibrary library which is created by user tomidix. This library is then used by implementation of a web application for communication with a smart home HUB. The last part of the thesis compares and evaluates the TRÅDFRI platform and the ZigBee standard.

Keywords: ZigBee, Smart Home, C#, .NET Framework, ASP.NET, CoAP

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Seznam obrázků	10
1 Úvod	11
2 Základní seznámení s problematikou	12
2.1 Obecný popis Smart Home zařízení	12
2.2 Uplatnění v praxi	14
2.3 Historie Smart Home	14
3 Základní informace technologie ZigBee	16
3.1 Technické specifikace technologie	16
3.2 Typy standardizovaných ZigBee zařízení	17
4 Komunikace a možnosti řízení platformy ZigBee	20
4.1 Struktura sítě (Fyzická, MAC, síťová vrstva, Aplikační vrstva)	20
4.2 Zabezpečení	23
5 Platforma IKEA Smart Home	26
5.1 Popis platformy IKEA Smart Home	26
5.2 Mobilní aplikace IKEA	28
5.3 Popis testovacího návrhu	29
6 Propojení platformy IKEA Smart Home s platformou .NET	31
6.1 Protokol pro komunikaci s domácí stanicí	31
6.2 Serializace pomocí JSON	32
6.3 Možnosti, které nabízí knihovna pro ovládání zařízení	33
7 Implementace aplikace	35
7.1 Popis struktury projektu ve Visual studiu	35
7.2 Uživatelské webové rozhraní	36
7.3 Podrobný popis určitých funkcí a algoritmů	38
7.4 Další možnosti rozšíření aplikace	43
8 Zhodnocení platformy	44
8.1 Zhodnocení platformy TRÅDFRI	44
8.2 Zhodnocení standardu ZigBee	45
9 Závěr	47

Literatura	48
Přílohy	50

Seznam použitých zkratek a symbolů

FFD	– Full Function Device
RFD	– Reduced Function Device
PAN	– Personal Area Network
AES	– Advanced Encryption Standard
MAC	– Media Access Control
APO	– Application Objects
ZDO	– ZigBee Device Object
ZDP	– ZigBee Device Protocol
CoAP	– Constrained Application Protocol
IoT	– Internet of Things
HTTP	– Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	– Hypertext Transfer Protocol Secure
URL	– Uniform Resource Locator
JSON	– JavaScript Object Notation
URI	– Uniform Resource Identifier

Seznam obrázků

1	Chytrá domácnost značky LOXONE [2]	13
2	Porovnání bezdrátových standardů [4]	17
3	Logické typy zařízení ZigBee [6]	18
4	Plně fungující zařízení (FFD) a omezeně fungující zařízení (RFD), topologie sítě [8]	19
5	Architektura sítě ZigBee [9]	21
6	Topologie sítě [10]	22
7	Představení kolekce TRÅDFRI [11]	26
8	Aplikace Home Smart od firmy IKEA	29
9	Diagram znázorňující protokoly pro komunikaci mezi zařízeními	31
10	Diagram znázorňující komunikaci mezi zařízeními prostřednictvím protokolu CoAP [14]	32
11	Architektura MVC [16]	36
12	Připojení k domácí stanici	36
13	Grafické zobrazení připojených zařízení	37
14	Zobrazení grafů statistik	38
15	Metoda ConnectTradfri pro připojení k domácí stanici	39
16	Metoda ResetDevice pro načtení všech zařízení z domácí stanice	40
17	Metoda CreateStatistics pro vytvoření statistik	41
18	Metoda GetTime pro výpočet celkového času konkrétního zapnutého zařízení	42

1 Úvod

V současné době je na světě nepřehledné množství síťových protokolů a standardů. Nejpravděpodobněji jsou známy standardy jako WiFi, Bluetooth nebo mobilní sítě. Dále můžeme znát bezdrátové přenosy, jako jsou RFID, NFC, WiMAX, Z-Wave nebo ZigBee. A právě technologii ZigBee se budu zabývat v této práci.

První část práce věnuje základnímu seznámení s tímto síťovým protokolem a kde bychom se s ním mohli potkat v praxi. Dále se práce zabývá technickými specifikacemi a legislativami tohoto protokolu. Druhá část práce se věnuje komunikaci a možnosti řízení této platformy, ve které se bude práce zabývat strukturou sítě z pohledu síťových vrstev, topologií a rozvržení protokolu a v neposlední řadě zabezpečením pro bezpečné a stabilní přenos dat. Ve třetí části se práce věnuje konkrétní platformě IKEA Smart Home, na které je implementována praktická část této práce. Konkrétněji se práce věnuje propojení této platformy s platformou .NET a jejími možnostmi a schopnostmi. Poslední část, tedy čtvrtá část, se věnuje implementaci praktické části a bude popisovat stěžejní části programu.

2 Základní seznámení s problematikou

V této části se práce zabývá pojmem „Smart Home“, neboli chytrá domácnost. Vysvětluje, jak chytrá domácí síť vypadá a jaká zařízení by se v této síti mohla nacházet. Dále se práce zabývá konkrétnějšími příklady, které podrobněji osvětlí problematiku. V další části práce nastiňuje historii chytré domácnosti.

2.1 Obecný popis Smart Home zařízení

S rychle rozvíjejícími se technologiemi se rychle rozšiřují i technologie lidem do domácností. Lidé mají tendenci stále si usnadňovat více a více věcí za snahou získat více času pro sebe. A v poslední době svět zažívá rozmach chytrých domácích zařízení. Pod pojmem „chytré zařízení“ si může uživatel představit zařízení, které buď usnadňuje danou činnost nebo ji plně zautomatizuje. Chytré zařízení může být chytrá žárovka, lednice, hlasový asistent, senzory pro zabezpečovací systém, dveřní zvonek či tepelný senzor pro termostat. Dalším potřebným zařízením pro chytrou domácnost je takzvaný HUB (domácí stanice), který tyto všechny zařízení spojuje dohromady a tvoří bránu pro ucelenou komunikaci s uživatelem.

Tato zařízení sice ulehčují život, ale potřebují mezi sebou komunikovat. Existují dva způsoby spojení, jak mezi sebou tyto zařízení komunikují – drátové a bezdrátové. Jelikož je drátová komunikace o poznání cenově a časově náročnější při instalaci než ta bezdrátová, tak se hojně používá ta bezdrátová. Je totiž jednodušší a levnější na instalaci. [1]

2.1.1 HUB - domácí stanice

HUB je ovládacím prvkem celé chytré domácnosti, která je schématicky znázorněna na obrázku č. 1. Toto zařízení je srdcem celé chytré domácnosti, spojuje totiž samotná zařízení a uživatele dohromady. Uživatel pak nemusí každé zařízení ovládat zvlášť, ale ovládá celou domácnost z jednoho centrálního místa, např. z mobilní aplikace nebo internetové aplikace. Všechno je tedy na jednom místě a uživatel má přehled o všech zařízeních najednou.

Z technického hlediska HUB na straně chytrých zařízení komunikuje bezdrátovými standardy ZigBee, Z-Wave, WiFi nebo také pomocí kabelu, který je veden od zařízení až k HUBu. Na straně komunikace s uživatelem může být zařízení zapojené pomocí Ethernetového kabelu a nebo bezdrátově pomocí standardu WiFi.

2.1.2 Chytrá zařízení

Tato zařízení komunikují s uživatelem prostřednictvím HUBu. Veškerá komunikace je tedy oddělená od komunikace mezi uživatelem a HUBem.

Jako nejčastějším zařízením v chytré domácnosti se můžeme setkat s chytrou žárovkou. Žárovka se zapojuje úplně stejným způsobem jako žárovka obyčejná, celá podstata chytré žárovky se totiž ukrývá uvnitř. Chytrou žárovku tedy na první pohled od té obyčejné nerozeznáme. Celá

chytrůst žárovky spočívá v tom, že si uživatel může nastavit jas žárovky a nebo barvu žárovky a to bezdrátově například z mobilního zařízení.

Dalším zařízením může být chytrá zásuvka, která z jakéhokoliv zařízení do elektrické zásuvky udělá chytré zařízení a takové zařízení pak může být vzdáleně ovládáno.

V poslední době se zdá, že je potřeba i chytrá lednice. Ta může uživateli v případě, že není v dosahu lednice, ukázat pomocí vestavěné kamery, co se v lednici nachází a co naopak chybí a musí se dokoupit. [1]

2.1.3 Hlasový asistent

Dále může být chytrá domácí síť obohacena o hlasového asistenta, díky kterému, jak už název napovídá, může uživatel hlasovými povely ovládat chytrou domácnost. Hlasových asistentů je v dnešní době mnoho, může to být hlasový asistent Google Asistent od firmy Google, Alexa od firmy Amazon, Siri od firmy Apple a Bixby od firmy Samsung.

Hlasem je možno například spustit hudbu na chytrém multimediálním zařízení, nebo spustit film na chytré televizi. Hlasový asistent také slouží pro zjišťování informací a počasí na internetu nebo jaký je provoz na cestách.

Dalším dnešním trendem se stává chytrá televize, do které se zabudovává chytrý asistent, aby uživatel nemusel televizi ovládat ovladačem, ale pouze hlasovými příkazy. Zároveň se takhle odbourává nutnost koupě chytrého asistenta jako separátního zařízení.

2.1.4 Multimedia

Dalším zařízením může být chytrý reproduktor, který nám bezdrátově ze streamovací služby nebo pomocí propojení s mobilním zařízením přes Bluetooth může přehrát hudbu. Nebo si uživatel může zvolit, ve které místnosti se hudba bude přehrávat, např. podle toho ve které místnosti se právě uživatel nachází.



Obrázek 1: Chytrá domácnost značky LOXONE [2]

2.2 Uplatnění v praxi

Chytrá domácnost by v praxi mohla například obashovat kompletní zabezpečovací systém chytrého domu, ovládání garážových vrat, ovládání rolet na okna a ovládání kotle. V tomto případě by mohla být řídicí jednotka (HUB) naprogramována tak, že když je dům zakódován a střežen zabezpečovacím systémem. Při příchodu domů si majitel otevře dálkovým ovladačem garážová vrata a řídicí jednotka je naprogramovaná tak, že odkóduje zabezpečovací systém, vytáhne všechny okenní rolety, aby pustilo sluneční svit do místností a spustí vytápění.

Takovýmto způsobem může chytrá domácnost, jak usnadnit každodenní rutiny, tak i zároveň ušetřit peníze. Chytrá domácnost totiž může například regulovat topení tak, aby se domácnost vytápěla jenom v případě, že je někdo doma. Nebo pomocí slunečního senzoru, může otevřít rolety v případě, že venku svítí slunce a tím zdarma vytápět dům, a naopak v případě přehřívání domácnosti rolety zatáhnout pro vytvoření příjemného klimatu. Další možností šetření peněz je, že pomocí čidel na otevření oken může systém sledovat, jestli jsou okna otevřená kvůli větrání a v takovém případě přestane fungovat topení. [1]

2.3 Historie Smart Home

2.3.1 1901-1920 – inovace domácích spotřebičů

Ačkoliv domácí spotřebiče v dnešní době nepovažujeme za chytrá zařízení, na začátku 20. století byly převratný úspěch. Tyto úspěchy začaly prvním elektricky-motorově poháněným vysavačem v roce 1901, který usnadnil úklid domu. Praktičtější verze vysavače pak byla vynalezena v roce 1907. A skrze toto dvacetiletí byla vynalezena lednice, pračka, sušička, žehlička, toustovače a mnoho dalších. [3]

2.3.2 1966-1967 - ECHO IV

Ačkoliv toto zařízení nebylo nikdy komerčně prodáváno, Echo IV bylo první chytré zařízení. Toto zařízení umělo vypočítat nákupní lístek, kontrolovat teplotu domácnosti a zapínat a vypínat domácí spotřebiče. [3]

2.3.3 1991- Gerontotechnologie

Gerontotechnologie kombinuje gerontologii a technologii dohromady. Gerontologie se zabývá příznaky stárnutí, vztahem starého člověka k přítomné společnosti a zdravotním stavem ve staří. [3]

A když se tato věda spojila s technologií vzniklo z toho zařízení, kterým mohl senior zavolat o pomoc v nouzi. Toto zařízení tedy nahrazovalo telefon, který by senior nebyl schopen v takové krizové situaci použít. [3]

2.3.4 1998-začátek 20. století

V tomto období pojem chytrá domácnost začal nabírat na objemu. Technologie se stávaly dostupnějšími pro domácí uživatele a toto odvětví se začalo rozrůstat do podoby jako ji známe dnes. [3]

2.3.5 Dnešní chytré domácnosti

Dnešní chytré domácnosti začali ze všeho nejdříve chytrými žárovkami a led pásky, které mohli měnit barvu a jas. Dále se přidali chytré zásuvky, které vytvoří z jakéhokoliv zařízení do zásuvky chytré zařízení. Dalším rozšířením sortimentu byla multimediální zařízení, jako je například bezdrátový reproduktor. A nejnovějším trendem se stal hlasový asistent, který se nejdříve rozšířil v mobilních zařízeních a následně se osamostatnila jako samostatná zařízení. Dále se začali hlasoví asistenti integrovat do chytrých televizí, které jsou v každé dnešní moderní domácnosti a snaží se tuto technologii zpřístupnit co nejvíce uživatelům. [3]

3 Základní informace technologie ZigBee

Síťový standard ZigBee zaplňuje technologickou díru na trhu a to díru mezi standardem WiFi a Bluetooth.

Standard WiFi se používá dnes a denně a to pro bezdrátové připojení k internetu. Tento standard je zaměřený a je vyvíjen pro co nejrychlejší přenos co největšího množství dat. Dosah tohoto standardu se pohybuje od desítek metrů a v ideálním případě až po několik stovek metrů. Tento způsob přenosu dat může být nalezen např. mezi přenosným počítačem a bezdrátovým přístupovým bodem, tedy WiFi routerem, pomocí kterého jsou zařízení připojena k internetu.

Naopak standard Bluetooth se zaměřuje na co nejrychlejší přenos malého množství dat a to na vzdálenost pouze několika desítek metrů. Tento způsob přenosu dat může být nalezen mezi přenosným počítačem nebo telefonním mobilem a v tomto případě s příslušenstvím, jako jsou například bezdrátová sluchátka, chytré hodinky, bezdrátová myš či klávesnice.

A právě mezi těmito dvěma bezdrátovými standardy vyplňuje díru standard ZigBee. Tento standard si bere z obou výše zmíněných standardů něco. Ze standardu WiFi si ZigBee přejímá delší vzdálenost dosahu a od standardu Bluetooth zase malé množství přenesených dat.

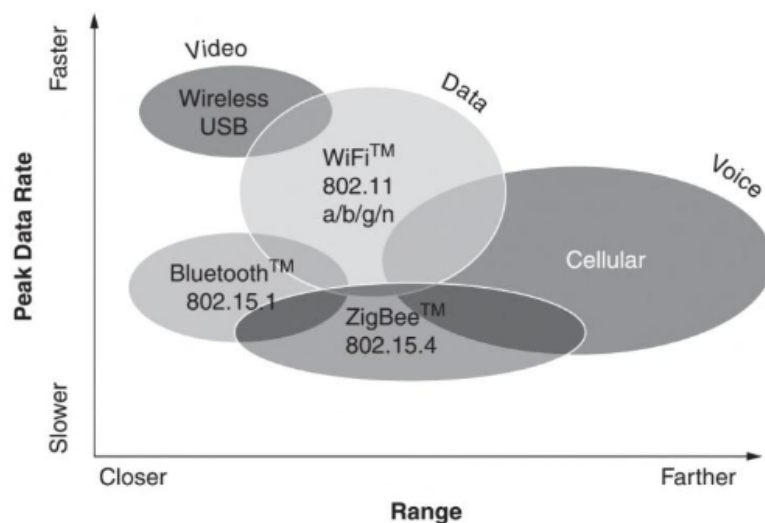
Zatímco ostatní bezdrátové standardy se snaží vylepšovat jejich kapacitu přenosu, ZigBee cíleně míří úplně opačným směrem, a to co nejstabilnější přenos minimálního množství dat. Další předností standardu je nízká spotřeba energie. Zatímco ostatní bezdrátová zařízení vydrží na baterii několik hodin, maximálně dnů, zařízení běžící na standardu ZigBee vydrží zpravidla na dvou tužkových bateriích v řádě roků. [4]

Standard ZigBee je primárně určen pro bezdrátové ovládání a monitorování. Standardem lze například pomocí tlačítka bezdrátově rozsvítit žárovku, zapnout zásuvku nebo přenášet data z teplotního čidla. Na tento typ aktivit se ZigBee hodí, protože je:

- Vysoce spolehlivé [5]
- Cenově dostupné [5]
- Nenáročné na elektrickou energii [5]
- Vysoce bezpečné [5]
- Otevřený standard [5]

3.1 Technické specifikace technologie

ZigBee specifikace dále rozšiřuje standard IEEE 802.15.4 přidáním síťové a bezpečnostní vrstvy a aplikačního frameworku. Díky rozšíření tohoto standardu (IEEE 802.15.4), ZigBee Alliance zaručuje vzájemné propojení zařízení různých výrobců.



Obrázek 2: Porovnání bezdrátových standardů [4]

Charakteristika standardu ZigBee:

- Globální fungování ve frekvenčním pásmu 2.4GHz odpovídající standardu IEEE 802.15.4 [6]
- Regionální fungování ve frekvenčním pásmu 915MHz pro Americký kontinent a 868MHZ pro Evropský [6]
- Frekvenčně odolné řešení pro správné fungování přes 16 frekvenčních kanálu v pásmu 2.4GHz [6]
- Zabudovává mechanismy pro šetření elektrické energie [6]
- Vyhledávací mechanismy s aplikačním potvrzením [6]
- Párovací mechanismy s aplikačním potvrzením [6]
- Hvězdicová topologie a komunikace v osobní síti (PAN) [6]
- Generace bezpečnostních klíčů [6]
- Využívání otevřený standard AES-128 bezpečnostní kód [6]

3.2 Typy standardizovaných ZigBee zařízení

ZigBee zařízení jsou kombinací aplikačního (např. světelný nebo zvukový sensor, žárovka, zásuvka atd.), ZigBee logického (koordinátor, směrovač, koncové zařízení) a ZigBee fyzického typu zařízení (Plně funkční zařízení a omezeně funkční zařízení). [6]

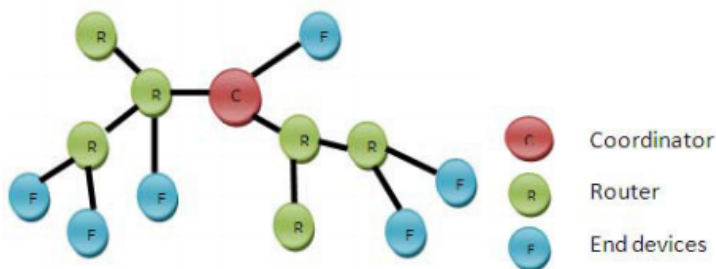
3.2.1 ZigBee logický typ zařízení

Logické typy zařízení ZigBee se rozdělují do tří kategorií: Koordinátor, Směrovač a koncové zařízení [7, 4].

Koordinátor - Tvoří kořen celého síťového stromu a může se síťovým mostem připojit k další samostatné síti. V každé síti může být pouze jedno takové zařízení. Toto zařízení má na starost prvotní vytvoření sítě, propojení všech zařízení a nastavení parametrů (vysílací frekvence, unikátní identifikátor sítě a další parametry), na kterých bude síť fungovat. Zařízení dále může uschovávat informace o síti a bezpečnostní klíče pro připojení do sítě. Zařízení typu koordinátor je na obr. č. 3 vyznačené zelenou barvou. [6]

Směrovač - Jeho schopnosti jsou oproti koordinátoru degradovány. Směrovač se může připojit do již existující sítě a může přijmout připojení od dalšího zařízení (další směrovač nebo koncové zařízení). Směrovač tedy tvoří propojení mezi koordinátorem a koncovým zařízením. Zařízení tedy přeposílá přijatou komunikaci dále směrem k zařízení v roli koordinátora. Směrovač je na obr. č. 3 vyznačený modrou barvou. [6]

Koncové zařízení - Zařízení nejnižšího logického typu a může být tedy méně energeticky náročné. Tyto zařízení mohou sbírat informace ze senzorů nebo spínačů, atd. Mají dostatečnou funkčnost pro připojení k rodiči, který může být koordinátor nebo směrovač. K tomuto zařízení již ale nemůže být připojené žádné další zařízení. Toto opatření tedy získává menší cenovou nákladnost na takové zařízení. Vůči tomuto omezení nemusí být zařízení stále probuzené a probouzí se pouze pokud potřebuje komunikovat. Zatímco zařízení předchozích typů musejí být v aktivním režimu neustále, což zvyšuje energetickou nákladnost. Každé zařízení může mít až 240 koncových bodů číslovaných od 1 do 240, které mají oddělené fungování, ale sdílí jedno vysílací rádio. Koncové zařízení je na obr. č. 3 vyznačené modrou barvou. [6]

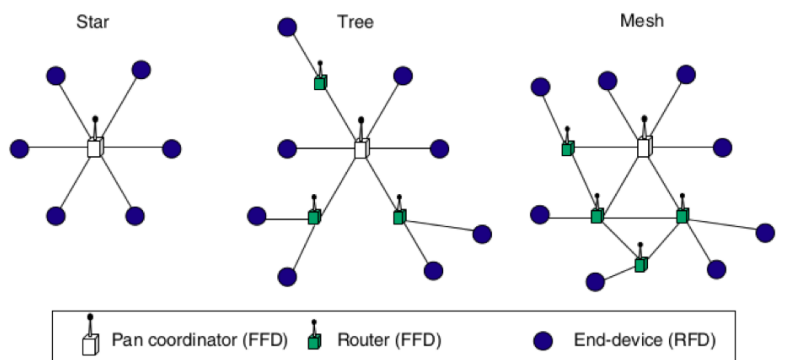


Obrázek 3: Logické typy zařízení ZigBee [6]

3.2.2 Zigbee fyzický typ zařízení

Na základě výpočetní kapacity se rozdělují zařízení do dvou fyzických typů zařízení, která využívají schopnosti protokolu 802.15.4: Plně fungující zařízení (FFD) a omezeně fungující zařízení (RFD). Plně fungující zařízení nabídnou všechny dostupné operace standardu, včetně směrovacích, koordinačních a naslouchacích schopností. FFD zařízení mohou nabývat rolí koordinátora, směrovače, ale i koncového zařízení, které může typu FFD i RFD podle potřeby pro danou aplikaci. Typické FFD zařízení v ZigBee síti bývá napájené z externího elektrického zdroje, protože zařízení musí být neustále aktivní a naslouchá na síti. Na druhou stranu RFD zařízení implementují omezenou verzi protokolu 802.15.4. RFD zařízení nejsou schopna přeposílat cizí packety dále do sítě a takové zařízení může být připojeno pouze k zařízení FFD. [6]

Nejčastěji se vyskytující zařízení typu RFD jsou senzory, které dělají minimální množství úkonů jako je například monitorování teploty, slunečního záření a nebo ovládání externího zařízení. Zařízení nemusejí být neustále zapnutá a tím šetří energii a umožňují tak napájení z baterie v rámci roků. FFD zařízení by na baterii vydržela v rámci dnů. [6]



Obrázek 4: Plně fungující zařízení (FFD) a omezeně fungující zařízení (RFD), topologie sítě [8]

4 Komunikace a možnosti řízení platformy ZigBee

4.1 Struktura sítě (Fyzická, MAC, síťová vrstva, Aplikační vrstva)

4.1.1 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva protokolu 802.15.4 je nejbližší vrstva hardwaru, která přímo ovládá a komunikuje s rádiovým vysílačem. Zpracovává všechny úkoly, které zahrnují přístup k hardware ZigBee, včetně inicializace hardwaru, výběru radiového kanálu, odhad kvality spoje a posouzení nejideálnějších rádiových kanálů pro nejkvalitnější komunikaci. Vrstva podporuje 3 kmitočtové pásma: 2,45GHz které obsahuje 16 kanálů a je využíváno globálně, 915MHz kmitočtové pásmo obsahující 10 kanálů a využívá se pouze v Americe a 868MHz kmitočtové pásmo obsahující 1 kanál a používá se pouze v Evropě. A na všech třech kanálech je využívána technika přímého rozprostřeného spektra (DSSS) a CSMA/CA. [6]

4.1.2 Linková vrstva (MAC)

Linková vrstva zprostředkovává propojení mezi vrstvou fyzickou a síťovou. Vrstva definuje samotný komunikační protokol 802.15.4, který je založen na přijímání a odesílání datových rámců protokolu MAC na fyzické vrstvě. V rámci tohoto protokolu jsou definovány čtyři typy rámců, které jsou používány pro přenos dat, řízení či správu sítě:

Datový rámec – využíváný pro samotný přenos užitečných dat [6]

Potvrzovací rámce – pro přenos potvrzovací informace, využívána pro potvrzování komunikace na úrovni linkové vrstvy [6]

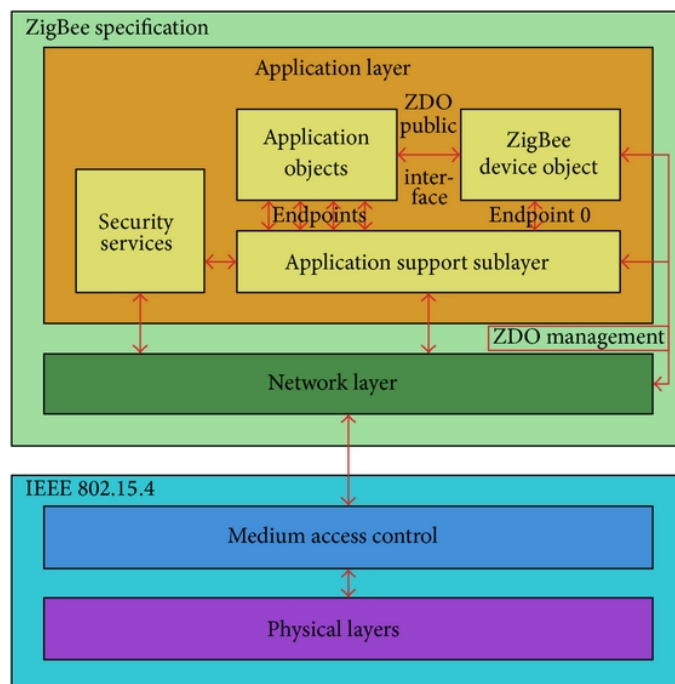
Beacon rámec – rámec používaný koordinátorem sítě k vysílání tzv. beacons (uvádění klientského zařízení do spánkového režimu) [6]

Rámec příkazu MAC – rámec k nastavování a řízení klientských zařízení v síti ZigBee [6]

Jelikož je tato vrstva založena na protokolu 802.15.4 a v rámci protokolu ZigBee není nějak pozměněna, není nutné další rozšiřování a programování. Díky tomu je protokol interoperabilní a zaručuje nám širokou vzájemnou podporu zařízení od nejrozličnějších vývojářů a výrobců.

4.1.3 Síťová vrstva

Tato vrstva je rozhraní mezi vrstvou linkovou a aplikační. Vrstva má na starost vytváření topologie a následné směrování ve vytvořené síti. Směrování je proces, který nám přeposílá a určuje směr jednotlivých paketů, tak aby se dostali do požadovaného cíle (zařízení). Při vytváření sítě se vytvářejí a uchovávají směrovací tabulky v zařízeních logického typu koordinátor nebo směrovač viz. výše. Směrovací tabulky uchovávají alokované adresy všech zařízení vyskytujících se v síti a



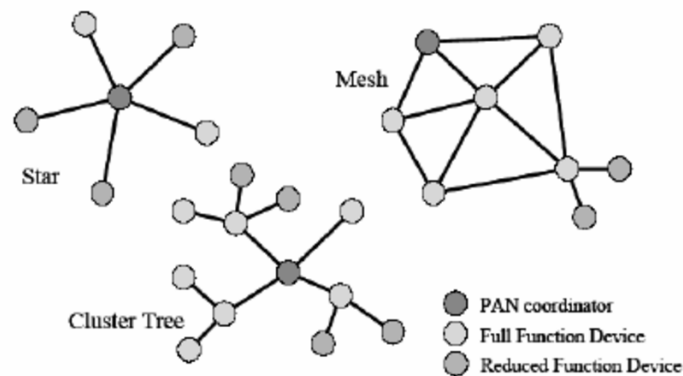
Obrázek 5: Architektura sítě ZigBee [9]

směrovací cesty k jednotlivým zařízením. Zařízení logického typu koncové zařízení neuchovávají směrovací tabulku a pouze všechny pakety směřují na k nimž připojené zařízení typu koordinátor/směrovač, které se za něj postará o směrování. Protokol ZigBee je schopen vytvořit tři druhy topologie sítě:

Topologie typu hvězda, kterou můžeme vidět na obrázku č. 6 na levé straně, se skládá ze zařízení typu koordinátor, na které jsou připojena všechna zařízení typu FFD i RFD, na která už nemohou být připojena žádná další zařízení. V síti je tedy jenom jeden uzel a to koordinátor. [6]

Topologie typu strom, kterou můžeme vidět na obrázku č. 6 uprostřed, je rozšířená topologie typu hvězda o další zařízení, která jsou připojena k již připojeným zařízením ke koordinátoru. Tvoří se tak další uzly a síť tak může vytvářet mnohem rozlehlejší síť, která má větší dosah. [6]

Topologie typu mesh, kterou můžeme vidět na obrázku č. 6 vpravo, je dále rozšířená topologie typu strom. Směrovací zařízení nemusí být připojena pouze k jednomu nadřazenému směrovači nebo koordinátoru, ale může se propojit se všemi sousedícími směrovači v dosahu. Takto je vytvořena síť se stejným rozsahem jako u topologie stromu, ale je zaručena robustnost. Robustnost poskytuje v případě selhání jednoho směrovače, přesměrování k



Obrázek 6: Topologie sítě [10]

jinému připojenému směrovači v dosahu. V případě selhání jednoho středového směrovače je síť stále v plném nasazení. [6]

4.1.4 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva je nejvyšší vrstva celého protokolu a má na starost organizaci aplikačních objektů. ZigBee specifikace rozděluje aplikační vrstvu na tři různé podvrstvy: Aplikační podpůrná podvrstva, Objekty zařízení ZigBee a aplikační framework, který si definuje výrobce, rozdělující zařízení do aplikačních objektů. [6]

Aplikační objekt (APO) je software, který ovládá celý hardware zařízení ZigBee. Každý aplikační objekt má přiřazenou unikátní koncové identifikační číslo(adresu), které je doplněno za adresu síťového zařízení v síti a může se tak navázat spojení přímo s aplikačním objektem v zařízení. V jediném zařízení ZigBee může být až 240 aplikačních objektů, které můžou v rámci zařízení mezi sebou komunikovat. Aplikační objekt musí být přiřazen do existujícího aplikačního profilu, který byl přijat ZigBee Aliancí. Aplikační profil definuje komunikační zprávy a umožňuje vzájemnou komunikaci mezi aplikačními objekty v rozmezí různých výrobců. [6]

Objekty zařízení ZigBee (ZDO) je aplikace běžící na koncovém bodu 0 každého zařízení ZigBee. Tato aplikace kontroluje stav odpojeného i připojeného zařízení k síti a poskytuje rozhraní k aplikačnímu profilu (ZDP), který uchovává příkazy pro komunikaci mezi zařízeními. ZDO také přímo komunikuje se síťovou vrstvou a rozhoduje, zda se má síťová vrstva vytvořit novou síť nebo se připojit k již existující síti nebo kdy má síť naopak opustit. Dále je tato podvrstva odpovědná za konfiguraci na určitý logický typ (koordinátor, směrovač, koncové zařízení) zařízení podle specifikací zadané výrobcem. [6]

Aplikační podpůrná podvrstva (APS) je vrstva tvořící rozhraní mezi aplikační a síťovou vrstvou z hlediska přenosu užitečných informací (data). Zpracovává příchozí a odchozí rámce a zabezpečuje jednotlivé rámce pro bezpečný přenos. [6]

4.2 Zabezpečení

Poskytovatel zabezpečení je další podvrstvou aplikační vrstvy, která poskytuje zabezpečovací specifikace protokolu ZigBee. Tato služba poskytuje metody pro získávání klíčů, přenos klíčů, a zabezpečení rámců. Každá vrstva má na starost zabezpečení svých vlastních rámců. V aplikační vrstvě má na starost zabezpečení Aplikační podpůrná vrstva. Zatímco podvrstva ZDO má na starost bezpečnost komunikace v samotném zařízení. V této části se práce zabývá zabezpečováním vrstev pospaných v kapitole č. 4. [7]

4.2.1 Otevřený důvěryhodný model

Architektura ZigBee je založena na důvěře mezi jednotlivými vrstvami v rámci jednoho zařízení za předpokladu, že bude bezpečně uchován bezpečnostní klíč a bude provedena důsledná implementace zabezpečovacího mechanismu pro přenos bezpečnostního klíče mimo zařízení. Předpokládá se, že jedno zařízení je vytvořeno jedním výrobcem, který by si nechtěl poškodit a ohrozit své vlastní zařízení. Aplikace zařízení tak má přístup ke spodním vrstvám (aplikační, síťové, linkové vrstvě). Zabezpečení tak neprobíhá v rámci jednoho zařízení, ale veškerá komunikace mimo zařízení už musí být zabezpečena. V rámci jednoho zařízení tak můžou všechny vrstvy používat stejný zabezpečovací mechanismus. [7]

4.2.2 Zabezpečovací klíče

ZigBee zařízení používají 128-bitové zabezpečovací klíče. Klíč na linkové vrstvě, tedy Linkový klíč (LK) je využíván pro unicastovou komunikaci, tedy mezi dvěma zařízeními. LK se nejčastěji využívá pro přenos bezpečnostního klíče a autentifikaci zařízení ve více zabezpečených sítích. Síťový klíč (NK), který je sdílený mezi všema zařízeními a je využíván pro broadcastovou komunikaci, tedy komunikaci mezi všemi zařízeními najednou v celé síti. NK je využíván ve standardně zabezpečené síti. Master klíč (MK) je využíván ve standardně zabezpečené síti pro vytvoření a přenesení zabezpečovacího klíče mezi dvěma zařízeními. [7]

4.2.3 Zabezpečení síťové vrstvy a trust centrum

Síťová vrstva zabezpečuje, pokud je to potřebné, pouze rámce vytvořené v této vrstvě. Rámec síťové vrstvy je zabezpečen pomocí AES šifrování. Vrstva zabezpečuje příchozí i odchozí rámce pro bezpečný přenos těchto rámců. Bezpečnostní klíče této vrstvě poskytují vyšší vrstvy. [7]

V každé síti existuje unikátní trust centrum (TC), které je důvěryhodné pro každé zařízení v síti. TC distribuuje zabezpečovací klíče pro celou síť a nebo klíče pro dvě vzájemně komunikující zařízení. Ve vysoce zabezpečené aplikaci (komerční) se používají MK, kdežto v nízko zabezpečené

síti se používají NK, pro prvotní zabezpečenou komunikaci s TC. MK a NK klíče jsou získána z přeinstalované specifikace zařízení. Trust centrum není další vrstva, ale je to další aplikace umístěna na jednom zařízení, které ve většině případech bývá koordinátor. [7]

4.2.4 Zabezpečení aplikační podvrstvy

Za zabezpečení aplikační vrstvy je odpovědna podpůrná aplikační podvrstva. Tato vrstva zabezpečuje také pouze rámce vytvořené v této vrstvě. Vyšší vrstvy vydávají příkazy pro použití služeb této podvrstvy. Podpůrná aplikační podvrstva obsahuje následující služby:

Establish key - služba, která vytvoří linkový klíč mezi dvěma zařízeními a pro zabezpečení tohoto přenosu je použit master klíč. [7]

Transport key - služba, poskytující zabezpečený i nezabezpečený přenos síťových, linkových a master klíčů. [7]

Update device - služba poskytující směrovači bezpečné oznámení o změně stavu zařízení Trust centru. [7]

Remove device - služba poskytující bezpečné oznámení směrovači, že jeden z jeho potomků vyžaduje odebrání ze sítě. [7]

Request key - služba poskytující bezpečné vyžádání síťového nebo master klíče. [7]

Switch key - služba umožňující trust centru informovat zařízení o využívání jiného síťového klíče. [7]

Entity Authentication - Služba poskytující autentifikaci mezi dvěma zařízeními pomocí síťového klíče. [7]

Permission Configuration Table - služba, která uchovává tabulku o veškerých zařízeních v síti a jejich autorizaci k provádění určitých příkazů. [7]

4.2.5 Připojování se k síti

Procedura se využívá, když se chce zařízení připojit do zabezpečené sítě nebo když zařízení v síti nezaznamená aktualizaci nového klíče a chce se znovu připojit pro získání nového NK. Připojující se zařízení začne vysílat nezabezpečený Beacon rámec (4.1.2) s požadavkem na připojení k síti. Všechny směrovače, které jsou v dosahu, pak pošlou zpět Beacon rámec a připojující se zařízení se rozhodne, ke které síti se chce připojit. Poté co se rozhodne, ke které síti se připojí, pošle danému směrovači asociační požadavek. Směrovač poté pošle asociační odpověď. Pokud připojující se zařízení obdrží kladnou odpověď, zařízení je připojeno k síti, ale jako neautentizováno. Celá tato procedura probíhá na linkové vrstvě. [7]

4.2.6 Autentizace

Zařízení ZigBee, které se připojilo do zabezpečené sítě ale je neautentizováno začne provádět proceduru autentizace. Pokud zařízení není logického typu směrovač, po úspěšné autentizaci se zařízení připojí do sítě deklarováno jako připojeno a autentizováno. Pokud zařízení je logického typu směrovač, pak po úspěšné autentizaci se inicializují směrovací operace a zařízení bude připojeno do sítě jako připojeno a autentizováno. [7]

5 Platforma IKEA Smart Home

V této sekci, se práce zabývá základním představením a specifikací platformy IKEA Smart Home, která je pro tuto práci použita jako demonstrační platforma, pracující na protokolu ZigBee. Poté se práce zabývá popisem mobilní aplikace pro platformu TRÅDFRI a jejími možnostmi. Na závěr této části práce popisuje demonstrační sestavu, použitou pro praktickou část této práce.

5.1 Popis platformy IKEA Smart Home

Tato platforma je zaštitěna Švédskou firmou IKEA a v sortimentu ji má označenou jako produkty TRÅDFRI, které můžeme vidět na obrázku č.7. Zařízení TRÅDFRI fungují na nijak neupraveném protokolu ZigBee. V aktuální nabídce můžeme najít nejrozličnější zařízení, jako jsou např. žárovky, RGB žárovky, různé druhy tlačítek, domácí stanice (brána), senzor pohybu, dálkově ovládaná zásuvka, opakováč signálu, dálkový ovladač hlasitosti zvuku atp.



Obrázek 7: Představení kolekce TRÅDFRI [11]

5.1.1 TRÅDFRI Brána

TRÅDFRI Brána, domácí stanice neboli HUB je základním stavebním kamenem celé této platformy. Toto zařízení propojuje dva protokoly dohromady a umožňuje centralizovanou správu všech zařízení v síti. Brána je připojena ethernetovým kabelem do síťového přepínače nebo domácího směrovače a přes lokální síť komunikuje s uživatelem, respektive mobilní aplikací. Na druhé straně komunikuje prostřednictvím protokolu ZigBee se všemi připojenými zařízeními. Toto zařízení je fyzického typu FFD a logického typu koordinátor. Jako jedno z mála je napájeno z externího zdroje.

Pro připojení jakéhokoliv zařízení k bráně je třeba použít IKEA aplikaci, ve které si uživatel zvolí, jaké zařízení chce párovat, a hlavně do jaké skupiny(místnosti) chce zařízení přidat. Po zvolení zařízení a příslušné skupiny se zobrazí jednoduché kroky potřebné pro spárování. Zařízení, jako jsou žárovka a zásuvka, se musí nejdříve spárovat s ovládacím tlačítkem a poté se tlačítko

po vyzvání aplikace spáruje s domácí stanicí. Párování probíhá přiblížením dvou zařízení na vzdálenost do dvou centimetrů a podržením párovacího tlačítka na ovládacím tlačítku. Celá žárovka nebo kontrolní LED dioda párovaného zařízení, začne různě problikávat a párování je dokončeno, až se žárovka nebo kontrolní LED dioda ustálí a začne konstantně svítit.

5.1.2 TRÅDFRI Žárovka

Žárovky jsou nabízeny v mnoha velikostech, s různými závity, odlišnými vyzařovacími výkony a také v mnoha barvách. Žárovky jsou nabízeny v jednobarevné variantě, kde je možno měnit teplotu barvy – studenější modrá a teplejší žlutá a v RGB variantě, která má 16,7 miliónů barev, které si může uživatel nastavit podle libosti. Další vlastností, kterou žárovka disponuje je stmívání, pomocí které si může uživatel nastavit jas žárovky.

5.1.3 TRÅDFRI Bezdrátově ovládaná zásuvka

TRÅDFRI Bezdrátově ovládaná zásuvka je mezikus, který se zapojí do elektrické zásuvky a do TRÅDFRI zásuvky se poté zapojí spotřebič, který chceme bezdrátově ovládat. Z obyčejného spotřebiče je tak vytvořený chytrý spotřebič, který můžeme bezdrátově zapínat nebo vypínat.

5.1.4 TRÅDFRI Ovládací tlačítka

Ovládací tlačítka slouží pro ovládání jediného zařízení nebo celé skupiny zařízení najednou. Tyto tlačítka v kombinaci s koncovým zařízením jsou schopna komunikovat bez přítomnosti domácí stanice a mohou komunikovat přímo mezi sebou navzájem. Tímto způsobem může být tvořena jednoduchá kombinace pro začátek jednoduché chytré domácí sítě. V případě, že by chtěl uživatel dálkovým ovládáním ovládat více než jedno zařízení, musí se k této kombinaci přidat i domácí stanice. Ovladač pak komunikuje s domácí stanicí a domácí stanice pak komunikuje s určitou skupinou zařízení.

IKEA nabízí dva druhy ovládacích tlačítek. Jednoduché tlačítko, které má možnost pouze zapnutí a vypnutí. Dále platforma nabízí komplexnější ovladač, který je primárně navržen pro ovládání RGB žárovky. V prostřední části ovladače se nachází velké kulaté tlačítko pro zapnutí a vypnutí. Z levé a pravé části pak obklopují prostřední tlačítko tlačítka pro změnu barvy žárovky a z vrchní a spodní části prostředního tlačítka se pak nacházejí tlačítka pro přidání nebo ubrání jasu.

5.1.5 TRÅDFRI Opakovač signálu

Opakovač signálu od výrobce IKEA je malé zařízení, které se zapojuje do elektrické zásuvky a opakuje přijímaný signál a tím prodlužuje dosah sítě. Toto zařízení musí být zapojené do elektrické zásuvky, protože je to zařízení fyzického typu FFD a logického typu směrovač. Plně funkční zařízení by na bateriovém zdroji vydrželo fungovat v řádu několika dnů. Výrobce z

praktických důvodů doplnil toto chytré zařízení o USB slot pro nabíjení mobilního zařízení. Tato funkce však nemá nic společného s protokolem ZigBee.

5.1.6 TRÅDFRI Bezdrátový pohybový senzor

Pohybový senzor po zaznamenání pohybu spustí všechny připojené zařízení a po určitém časovém intervalu, zařízení zase zhasne. Pohybový senzor má dvě nastavení. První nastavení určuje, jestli bude senzor zaznamenávat pohyb pouze za tmy a nebo bude senzor reagovat v obou případech, tedy ve tmě i ve světle, senzor totiž nemusí ovládat pouze osvětlení, ale i jakékoliv ZigBee zařízení. Druhé nastavení určuje v případě připojeného osvětlení, zdali se bude osvětlení kompletně vypínat a nebo se pouze ztlumí jas na 75%.

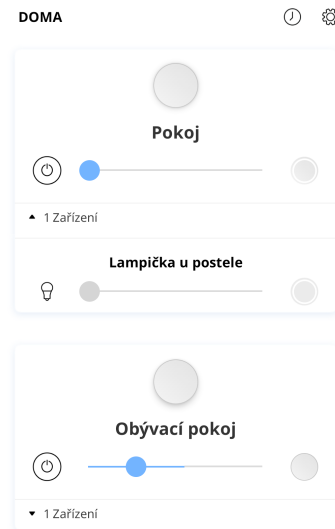
5.1.7 SYMFONISK

IKEA ve spolupráci s firmou SONOS, vytvořila cenově dostupné WiFi reproduktory, tvořící novou kolekci s názvem SYMFONISK. Tato kolekce je odlišná od kolekce TRÅDFRI, ale lze tyto kolekce částečně propojit. Reprodukory streamují hudbu pomocí WiFi z internetu, ale díky kolekce TRÅDFRI můžeme ovládat hlasitost reproduktoru prostřednictvím standardu ZigBee. Hlasitost může uživatel ovládat pomocí aplikace nebo pomocí dedikovaného hardwarového kolečka. Kolekce SYMFONISK také nabízí zajímavé zařízení, které kombinuje lampičku s reproduktorem.

5.2 Mobilní aplikace IKEA

Tato aplikace je dostupná na mobilních operačních systémech Android i iOS. Aplikace tvoří uživatelské prostředí pro pohodlné a jednoduché ovládání všech zařízení z jednoho centralizovaného místa.

Aby aplikace fungovala musí být mobilní telefon připojen ke stejné síti, do které je připojena domácí stanice. Aplikace vyhledá domácí stanici v síti a poté co zařízení nalezne, vyzve uživatele naskenovat QR kód, který je vytištěn na spodní straně domácí stanice, pro bezpečné spárování. Takovým způsobem je zajištěna bezpečnost zařízení, ke kterému se nepřipojí jakékoliv uživatel připojený k síti, ale pouze uživatel s fyzickým přístupem k zařízení. Po naskenování QR kódu je domácí stanice spárována s aplikací a tento proces se již nemusí opakovat.



Obrázek 8: Aplikace Home Smart od firmy IKEA

Na obrázku č. 8 jde vidět základní stránku, na které jsou zařízení rozdělené do skupin (místností) a jednotlivá zařízení ve skupinách. Skupiny i zařízení si může uživatel libovolně přejmenovat dle své představy. Zařízení může uživatel ovládat po skupinách nebo po otevření skupiny si může zařízení ovládat samostatně. V obou případech se může nastavovat jas, barva a samozřejmě lze zařízení zapnout nebo vypnout. Aplikace také nabízí možnost připojení WiFi reproduktoru, u kterého je prostřednictvím protokolu ZigBee ovládána jeho hlasitost. Zbytek funkcí reproduktoru funguje prostřednictvím standardu WiFi ale touto částí se práce nezabývá.

Aplikace IKEA lze také propojit s hlasovými asistenty (Google Asistent, Alexa, Siri atp.). Po propojení s hlasovým asistentem, lze zařízení připojené v síti ovládat hlasovými příkazy.

5.3 Popis testovacího návrhu

Pro testovací účely a pro široký záběr z celé platformy IKEA TRÅDFRI, byl zvolen jeden kus zařízení z každé kategorie, za účelem otestování funkčnosti programu s každou kategorií. Vybrané zařízení jsou:

- Domácí stanice (HUB)
- Bezdrátové ovládací tlačítko s nastavováním barev a jasu.
- Bezdrátové ovládací tlačítko s možností vypnuto zapnuto
- Bezdrátový pohybový senzor
- Bezdrátově ovládaná elektrická zásuvka
- Bezdrátově ovládaná žlutá žárovka
- RGB svítidlo značky Philips

Ze všeho nejdříve byla zařízení testována v praxi při běžném každodenním užití, přesně tak jak by byla využívána běžným uživatelem. Zařízení byla rozdělena do dvou skupin, v tomto případě jedna skupina odpovídá jedné místnosti. Ke každé skupině bylo přiřazeno jedno ovládací zařízení. A ovládání bylo možno i z aplikace propojené s domácí stanicí.

V obývacím pokoji, který se nachází od domácí stanice přímou čarou zhruba 5 metrů přes nosnou zeď o tloušťce zhruba 80 centimetrů, byla testovaná elektrická zásuvka s tlačítkem pro vypnutí/zapnutí. K chytré elektrické zásuvce byla připojena lampička, která má spínač v těžko dosažitelném místě. Přenositelným tlačítkem tak byl zajištěn komfort ovládání odkudkoliv z bytu. I přes tuto krátkou vzdálenost blokovanou širokou nosnou zdí, nenastala situace kdy by zařízení přestala komunikovat s domácí stanicí.

V kuchyni vzdálené od domácí stanice zhruba 8 metrů, pak byla testovaná žárovka zapojená v hlavním lustru a byla ovládaná pohybovým senzorem. Tímto způsobem byla zajištěna úspora energie, aby žárovka nesvítla pokud se v kuchyni nikdo nenachází. Aby se v noci žárovka nezapínala, světlo se vypínalo manuálně světelným vypínačem.

Třetí testovací pokoj byla ložnice, kde byla zapojena další žárovka, RGB svítidlo značky Philips a také se zde nacházela domácí stanice, zařízení tedy byla připojená přímo bez jakékoliv překážky. Obě zařízení byla společně ovládaná z tlačítka s nastavováním jasu. Tlačítko pak bylo využíváno a přenášeno z nočního stolku a pracovního stolu, kde bylo vždy po ruce. Nebylo tedy třeba se zvedat ze židle při pozdních večerních hodinách a z postele nebylo třeba se nepohodlně natahovat.

Domácí stanice se nachází v ložnici na pracovním stole v blízkosti domácího směrovače pro jednoduché zapojení. Ačkoliv má odtud WiFi přístupový bod problém pokrýt celý byt z důvodu tlustých nosných zdí, signál z domácí stanice ze stejného místa pokryl celý byt a vždy byla nalezena všechna zařízení.

5.3.1 Testování kompatibility platformy

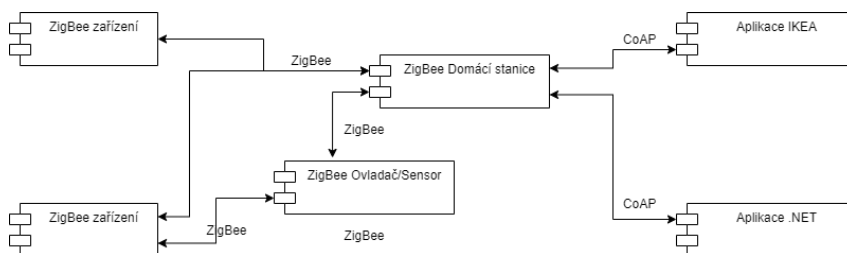
Pro testovací účely kompatibility ZigBee zařízení mezi různými výrobci, bylo v této práci použito svítidlo značky Philips. Toto svítidlo neslouží jako hlavní zdroj světla, ale pouze jako barevné osvětlení prostoru pro navození atmosféry. Svítidlo Bloom je RGB svítidlo a lze u něj měnit jas záření.

Z hlediska testování se svítidlo propojilo napoprvé naprosto stejným způsobem s ovládacím tlačítkem bez jakýchkoliv problému a komplikací. Svítidlo bez jakýchkoliv problému bylo nalezeno aplikací a byly dostupné všechny jeho funkce. Tímto způsobem byla ověřena interoperabilita těchto dvou výrobců (Philips, IKEA). Také lze usoudit, že standard ZigBee nebyl ani u jedné značky nějakým způsobem pozměněn/přizpůsoben podle výrobců.

6 Propojení platformy IKEA Smart Home s platformou .NET

V následující kapitole se práce zabývá propojením domácí stanice TRÅDFRI s platformou .NET, na které je implementována praktická část této práce. Pro propojení byla použita již vytvořená knihovna dostupná na přední světové platformě pro vývoj softwaru GitHub od uživatele tomidix s názvem knihovny CSharpTradFriLibrary. [12]

6.1 Protokol pro komunikaci s domácí stanicí



Obrázek 9: Diagram znázorňující protokoly pro komunikaci mezi zařízeními

Pro komunikaci s domácí stanicí je použit protokol Constrained Application Protocol (CoAP), který můžeme vidět na obrázku č. 9, kde komunikuje mezi domácí stanicí a počítačem nebo mobilní aplikací. Tento protokol je široce využíván v Internetu věcí (IoT) pro komunikaci s chytrými zařízeními, v našem případě s domácí stanicí TRÅDFRI. Tento protokol je používán aplikací IKEA, ale je implementován i do knihovny CSharpTradFriLibrary, používána aplikací v praktické části této práce. Protokol v továrním nastavení komunikuje na síťovém portu číslo 5683.

Protokol je inspirován protokolem HTTP/HTTPS, ale je z velké části odlehčen pro fungování na výkonově slabých zařízeních, tedy IoT zařízeních. Protokol CoAP je dostupný i v zabezpečené verzi CoAPS pro zabezpečenou komunikaci v počítačové síti. Protokol je specializovaný webový transferový protokol navržený pro komunikaci mezi dvěma zařízeními (klient/server). V našem případě domácí stanice zastává roli serveru a počítač se připojuje v roli klienta. [13]

Tak jako u protokolu HTTP jsou v protokolu CoAP dostupné klientské dotazy: GET, POST, PUT a DELETE. [13]

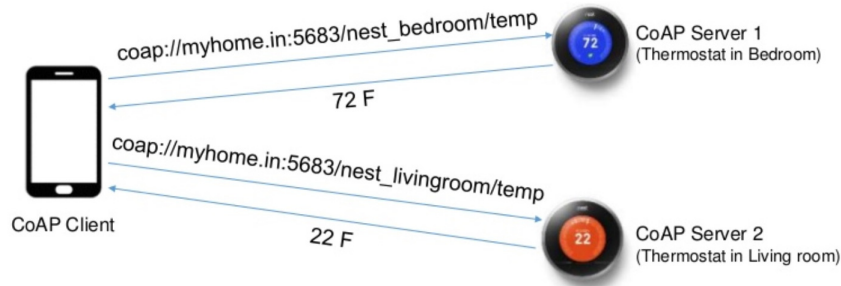
GET – Tato metoda žádá server o zaslání dat, která tato metoda specifikuje v jednotném identifikátoru zdroje (URI). [13]

POST – Metoda, která zasílá na server data, která chce nově vytvořit. Zasílaná data jsou opět přenášena pomocí URI. [13]

PUT – Podobná metoda jako POST s rozdílem, že data na serveru nevytváří, ale obnovuje již existující data na serveru. Data jsou přenášena pomocí URI. [13]

DELETE – Metoda žádající o smazání dat ze serveru, která jsou přenášena pomocí URI. [13]

Tyto dotazy přenášejí informace pomocí URL směrem ze serveru ke klientovi nebo naopak směrem od klienta na server. V adrese na obrázku č. 10 jsou za číslem portu specifikována identifikační názvy zařízení, se kterými se navazuje spojení. Následovně je za názvem specifikován parametr, který je požadován. Tyto identifikační názvy a parametry mohou být nahrazeny číslem pomocí serializace JSON, která nám vytvoří tzv. JSON vlastnost.



Obrázek 10: Diagram znázorňující komunikaci mezi zařízeními prostřednictvím protokolu CoAP [14]

6.2 Serializace pomocí JSON

JSON je odlehčený formát pro výměnu dat. Tento standard vychází z programovacího jazyka JavaScript a je navržený tak, aby byl jednoduchý pro napsání i čtení pro člověka, ale zároveň i snadno analyzovatelný a generovatelný strojově. Je to textový, na jazyce nezávislý formát, který používá strukturu dobře známou z populárních programovacích jazyků (C, C++, C#, Java, JavaScript, Python atp.). JSON je tedy vhodný pro komunikaci mezi dvěma platformami běžící na stejném programovacím jazyce, ale díky podobné struktuře vycházející z programovacích jazyků, je vhodný i pro komunikaci pro dvě platformy běžící na odlišném programovacím jazyce. [15]

JSON je založen na dvou strukturách:

- Kolekce párů název/hodnota** - tato kolekce je ve většině programovacích jazycích realizována jako objekt, záznam, struktura, slovník, hash tabulka, klíčový seznam nebo asociativní pole. [15]
- Seřazený seznam hodnot** - tento seznam je ve většině programovacích jazycích realizován jako pole, vektor, seznam nebo posloupnost. [15]

Objekt, tedy kolekce párů název/hodnota, je ve formátu JSON realizovaný pomocí znaků složených závorek, do kterých se následovně vkládají pár. Pár se skládá z názvu, který následuje znak dvojtečka a za dvojtečkou je uvedena hodnota patřící k názvu. Jednotlivé páry jsou od sebe odděleny znakem čárkou. [15]

Pole, tedy seřazený seznam hodnot, je ve formátu JSON realizovaný pomocí znaků hranatých závorek, do kterých se následovně vkládají hodnoty. Jednotlivé hodnoty jsou odděleny znakem čárkou.

Hodnoty jsou řetězce uzavřené do znaků dvojitého uvozovky. Tyto řetězce mohou být typu number (číslo) nebo string (řetězec), ale také zde mohou být zanořeny objekty nebo pole.

Další možnost využití serializačního formátu JSON je JSON Vlastnost (Property). Tato vlastnost je řetězec znaků přiřazený ke každému členu v programu a při následovné serializaci je název členu nahrazen touto vlastností neboli řetězcem znaků. Tato funkcionalita nám umožňuje jiné pojmenování členů ve dvou platformách, které spolu komunikují a následovně překládání z jedné verze do druhé. [15]

6.3 Možnosti, které nabízí knihovna pro ovládání zařízení

Praktická část bakalářské práce se zabývá implementací již vytvořené knihovny CSharpTradfriLibrary, která je volně dostupná na přední světové platformě pro vývoj softwaru GitHub publikována uživatelem tomidix. Hlavní část knihovny se skládá ze čtyř kontrolérů, které mají na starost čtyři rozdílné způsoby komunikace s domácí stanicí. Dále knihovna obsahuje modely pro tyto kontroléry, ze kterých se vytváří URL adresa pro protokol CoAP. Nejdůležitější kontrolér obsažený v knihovně je Tradfri kontrolér sloužící pro navázání spojení, autentifikaci a komunikaci s domácí stanicí.

6.3.1 Kontrolér zařízení

Tento kontrolér je nejvíce využíván, ze všech čtyřech kontrolérů, protože se používá na samostatné ovládání jednotlivých zařízení. V tomto kontroléru se nachází metody pro zapnutí nebo vypnutí žárovky nebo zásuvky, změnu barvy nebo intenzity jasu u zařízení typu světla. Další dvě metody pro zjištění typu zařízení – světlo nebo žárovka, které se volají před změnou stavu zařízení. Jednotlivé typy zařízení se totiž ovládají trochu jiným způsobem. Dále se zde nachází pozorovatel (observer), pomocí kterého se jednotlivá zařízení monitorují. Pozorovatel reaguje na jakoukoliv komunikaci domácí stanice s pozorovaným zařízením a následně spouští funkci, která je k pozorovateli přiřazena. V neposlední řadě kontrolér obsahuje metodu pro získávání zařízení z domácí stanice.

Do parametrů těchto metod se posílají objekty jednotlivých zařízení vytvořené v modelu pro zařízení. Druhý parametr je stav, na který chceme nastavit zařízení. Pokud chceme zařízení zapnout nebo vypnout posíláme hodnotu typu bool, pro změnu jasu posíláme hodnotu typu int v rozmezí od 0-255 a pro změnu barvy posíláme hodnotu string, která je uložena v modelu pro konstanty v hexadecimální podobě pro RGB barvy.

Ze všeho nejdříve metoda vygeneruje požadavek na zpracování žádosti, který následovně zpracuje Tradfri kontrolér a odešle pomocí protokolu CoAP domácí stanicí. Následně je změněna hodnota i u objektu konkrétního zařízení, aby se změnil stav zařízení i v softwarové části a aby

se zbytečně nemuselo komunikovat s domácí stanicí a zjišťovat stav tohoto zařízení. Tímto je zaručena minimální komunikace a nezatěžuje se tak domácí stanice, která je vybavena slabým hardwarem.

6.3.2 Kontrolér skupiny

Jednotlivá zařízení jsou rozdělena do skupin, a právě tyto skupiny má na starost kontrolér skupin. Tento kontrolér komunikuje s domácí stanicí na stejném principu jako kontrolér zařízení s tím rozdílem, že místo identifikačních čísel zařízení posílá na domácí stanici identifikační zařízení skupin. Domácí stanice pak obslouží všechna zařízení, která patří do skupiny s tímto identifikačním číslem.

Kontrolérem je možno ovládat zařízení stejně jako kontrolérem pro zařízení. Může se tedy vypínat a zapínat celá skupina, měnit barva nebo jas celé skupiny a může se měnit i takzvaná nálada. Nálad jsou předem definované hodnoty, co se týče barvy, jasu a stavu zařízení. Pokud má uživatel své oblíbené nastavení, tak si tímto způsobem může nastavení uložit a kdykoliv si ho může na celou skupinu zavolat. Opět v neposlední řadě kontrolér obsahuje metodu na získávání jedné skupiny z domácí stanice.

6.3.3 Kontrolér brány

Tento kontrolér neovládá žádné koncové zařízení, ale pouze komunikuje s domácí stanicí a získává potřebné informace. V kontroléru se nachází metody pro vytvoření polí připojených zařízení, aktuálních skupin, uložených nálad a takzvaných chytrých úkolů. Tyto metody získají z domácí stanice seznam identifikačních čísel zařízení, skupin, nálad a chytrých úkolů a posláním těchto identifikačních čísel pak následně získávají jednotlivá zařízení, skupiny, nálady a chytré úkoly z příslušných kontrolérů pomocí metod, které volají pouze jedno zařízení, skupinu atd. Tímto způsobem je vytvořeno pole, které je využíváno v celém programu. Další metoda nacházející se v tomto kontroléru slouží pro reset do továrního nastavení domácí stanice.

6.3.4 Kontroler Tradfri

Hlavní kontrolér, který vytváří všechny výše uvedené kontroléry. Díky tomuto kontroléru se navazuje spojení s domácí stanicí, která ke každé aplikaci vygeneruje jeden aplikační klíč (appKey). Tento klíč je unikátní právě k jedné aplikaci a je generovaná samostatnou metodou. Při prvním propojení s domácí stanicí tak domácí stanice přidělí klíč, který se v aplikaci uloží a pomocí tohoto klíče se při příštím propojení bude autentizovat. Dále pro připojení potřebuje kontrolér znát IP adresu přiřazenou domácí stanicí a jméno aplikace, pro kterou byl vytvořený unikátní klíč.

Další metoda zpracovává všechny žádosti, které vytváří všechny ostatní kontroléry. Jako parametry jsou v této metodě zpracovávány URL odkaz a typ klientského dotazu HTTP protokolu. Dále je již poslán zpracovaný HTTP dotaz do sítě.

7 Implementace aplikace

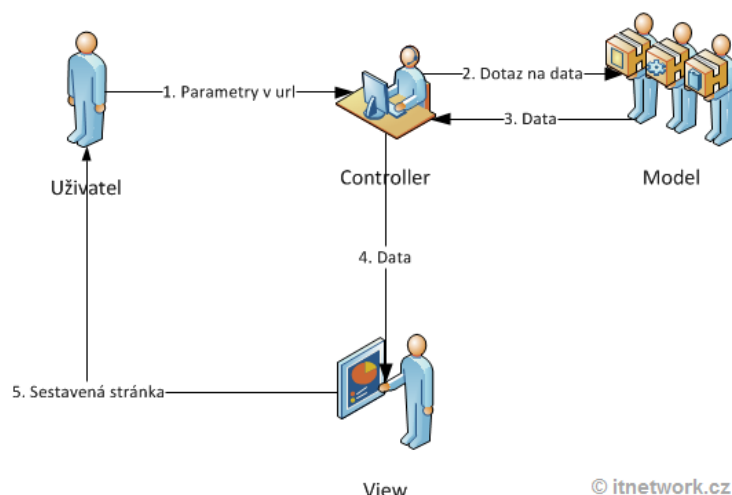
V této části se práce zabývá implementací praktické části bakalářské práce. Je zde popsána základní struktura programu, jsou zde detailně popsány stěžejní funkce a algoritmy obsažené v nich. Dále je v této části popsána a vysvětlena funkčnost webového rozhraní aplikace. V neposlední řadě je zmíněno o možnostech budoucího rozšíření aplikace a jaké další možnosti knihovna nabízí.

7.1 Popis struktury projektu ve Visual studiu

Celý program je pro testovací účely v jednom řešení (solution), ve kterém je hned několik projektů. Již zmiňovaná knihovna v kapitole 6.3, ze které následně čerpá hlavní projekt. Tento projekt je vytvořen podle šablony ASP.NET Core Web Application. V této šabloně jsou integrovaná prostředí .NET Core, ale i .NET Framework.

Tato šablona je založena na architektuře MVC, zkratka pro Model, View (pohled), Controller (Kontrolér), viz obrázek č. 11. V této práci je v části Kontrolér implementovaná celá logika webové aplikace. Jsou zde všechny metody, které se vyvolávají z části View. V metodách jsou naprogramovány algoritmy pro vygenerování statistik, uložení stavu zařízení do logovacího souboru a veškerá komunikace s domácí stanicí. Kontrolér navazuje první spojení, získává veškerá připojená zařízení k domácí stanici a odesílá veškeré úkoly, jako rožnutí a zhasnutí světla či skupiny světel, zapnutí a vypnutí zásuvky, kontrola jasu a nastavování barev pro jednotlivá zařízení. Veškeré tyto úkoly jsou vyvolávány z knihovny CSharpTradFriLibrary, která je v řešení jako další projekt, na který je následně odkazováno. Tento projekt obsahuje všechny potřebné algoritmy pro ovládání chytrých zařízení viz kapitola č. 6.3.

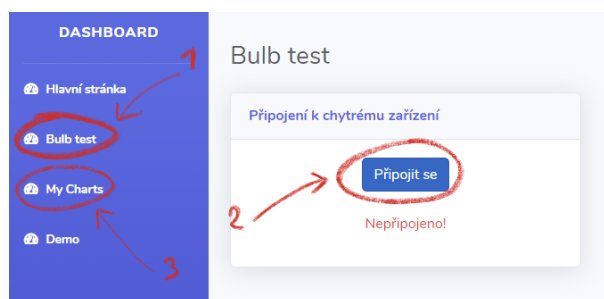
V části řešení View je řešena struktura webové stránky. Tyto stránky implementují pouze část těla stránky, která je následně vložena do jedné šablony, pro konstantní vzhled stránky, ale i zjednodušení a omezení psaní opakujících se prvků. Část obsahuje čtyři stránky, z toho dvě jsou demo stránky zobrazující možnosti dashboardu Bootstrap, který je použit pro vzhled stránky. Další dvě stránky jsou implementovány v rámci praktické části práce. První stránka s názvem BulbTest zobrazuje grafické ovládání. Pro grafické zobrazení tlačítek v této části, je použita CSS knihovna Font Awesome, která je již implementovaná v knihovně dashboardu Bootstrap. Druhá stránka zobrazuje statistiky v podobě dvou rozdílných grafů pro demonstraci různých způsobů zobrazení, které jsou vygenerované z logovacího souboru a jsou vykreslovány pomocí JavaScriptu. Data pro vykreslení grafu jsou zasílána pomocí technologie AJAX ve formátu JSON přímo do prohlížeče uživatele. V rámci JavaScriptu, je v této práci zpracované korektní zobrazení jednotek času, zobrazující se po přejetí kurzoru přes jednotlivé body grafu.



Obrázek 11: Architektura MVC [16]

7.2 Uživatelské webové rozhraní

V této kapitole se práce zabývá stručným popisem webové aplikace, pomocí které se komunikuje s domácí stanicí. Po zapnutí webové aplikace je potřeba se připojit k domácí stanici. Prvním krokem, který je znázorněný na obrázku č. 12 jako bod č. jedna, se přemístíme na stránku s grafickým zobrazením připojených zařízení, kde se po kliknutí na tlačítko „Připojit se“ znázorněný jako bod číslo dvě na obrázku č. 12, naváže kontakt s domácí stanicí. Po úspěšném připojení se zobrazí grafický náhled všech zařízení, která jsou spárovaná s domácí stanicí, viz obrázek č. 13.

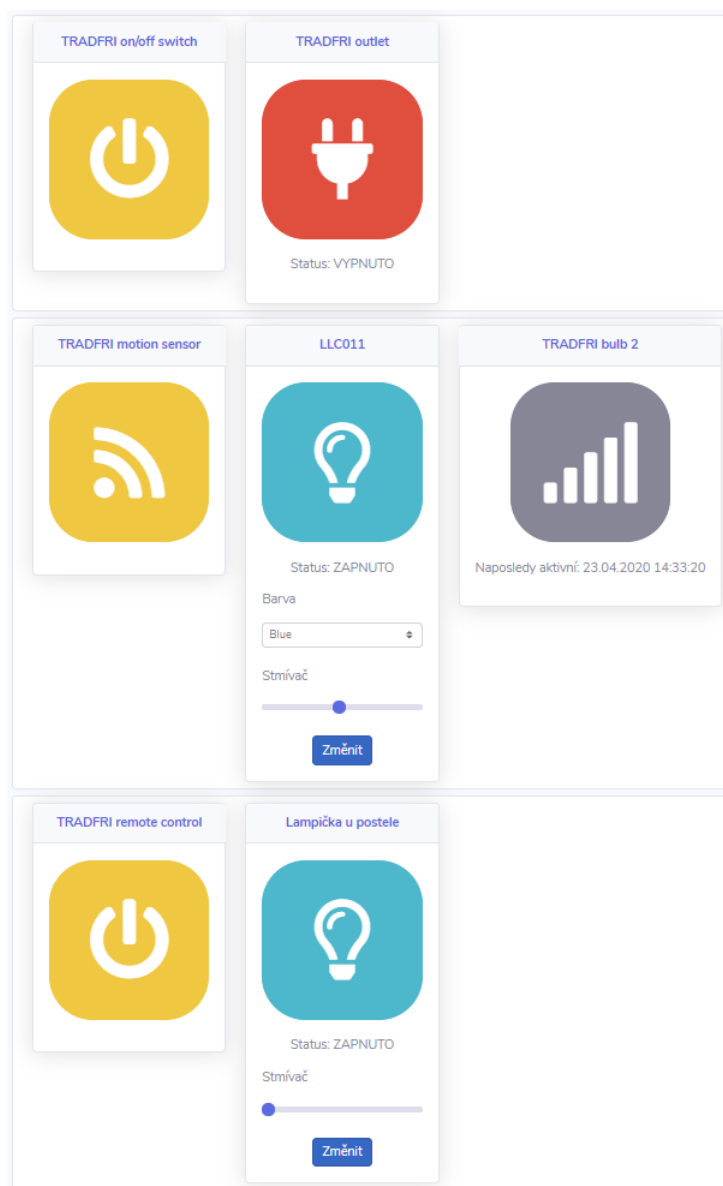


Obrázek 12: Připojení k domácí stanici

Na obrázku č. 13 je vidět grafické zobrazení rozděleno do řádků a každý tento řádek znázorňuje jednu skupinu (místnost), do kterých jsou jednotlivá koncová zařízení a ovladače přiřazena. Jako první zařízení ve skupině je žlutě označené ovládací zařízení. Ovládací zařízení může být ovládací tlačítko s nastavením jasu či bez nebo pohybový senzor. Po kliknutí na ovládací tlačítko se simuluje akce, kterou by vyvolalo hardwarové zařízení, v tomto případě se zapnou nebo vypnou všechna zařízení přiřazená k dané skupině, ve které se nachází ovládací zařízení.

Každé další tlačítko v grafickém zobrazení znázorňuje koncové zařízení, v tomto případě je implementováno RGB světlo, světlo a chytrá zásuvka. Každé toto zařízení má svoji ikonu

pro rychlé grafické rozlišení. Ke světlu je přiřazena žárovka a k chytré zásuvce je přiřazena ikona zástrčky elektrického kabelu. Každá tato ikona pak barvou znázorňuje, v jakém se nachází stavu, červená barva tlačítka znázorňuje, že je zařízení vypnuté a modrá barva znázorňuje že je zařízení zapnuté. Zařízení se pak může dostat do třetího stavu, a to je stav nedostupné, který je znázorněn šedou barvou a ikonou signálu. Toto zařízení je stále spárované s domácí stanicí, ale zařízení je např. odpojeno od elektrického napájení a tím pádem není připojeno k domácí stanici.

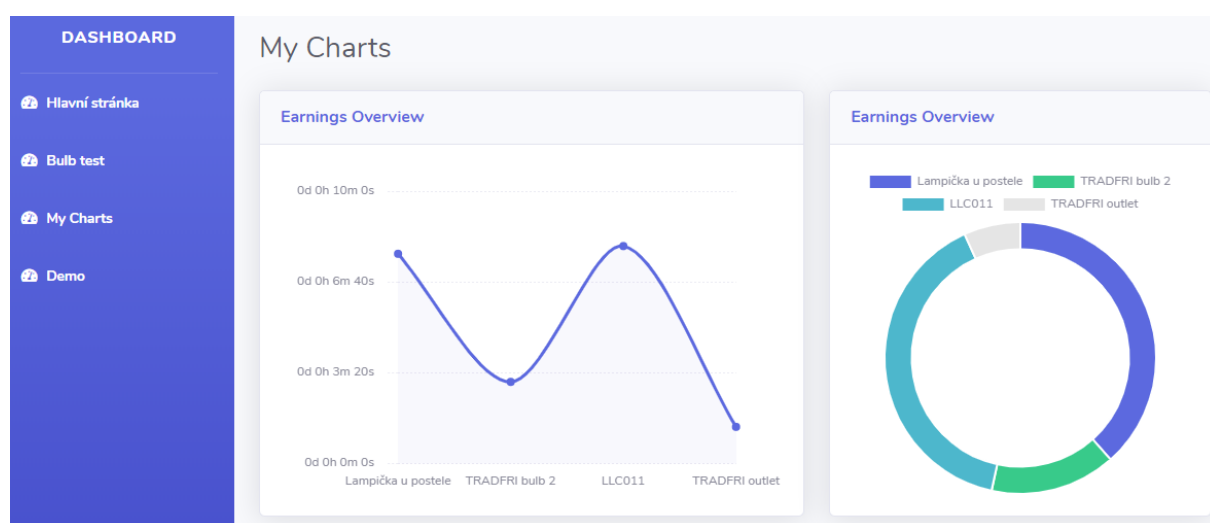


Obrázek 13: Grafické zobrazení připojených zařízení

Další věc, kterou aplikace rozlišuje, je rozeznání chytré zásuvky a žárovky, a to tím způsobem, že při zapnutí žárovky se zobrazí lišta pro nastavení jasu žárovky a v případě RGB žárovky se

zobrazí i rolovací seznam, kde se vybírá barva, jakou bude žárovka svítit. V případě chytré žárovky se žádné takové dodatečné nastavení nezobrazí, protože toto zařízení může měnit pouze stav zapnuto/vypnuto. U všech vypnutých nebo nedostupných zařízení se z důvodu přehlednosti žádné takové nastavení nezobrazuje.

Webová aplikace dále nabízí část, ve které jsou zobrazené statistiky, které jsou vygenerovány z logovacích souborů. Do této části se uživatel dostane odkazem znázorněný bodem číslo tři na obrázku č. 12. Na obrázku č. 14 je demonstrován jeden způsob dvěma rozdílnými zobrazeními, kterým lze generovat statistiky z nasbíraných dat. V tomto případě se z nasbíraných dat, počítá celkový aktivní čas jednotlivých zařízení. Grafy zobrazené na této stránce jsou interaktivní a po najetí kurzoru na jednotlivé body se zobrazí přesný čas v sekundách, minutách, hodinách a dnech.



Obrázek 14: Zobrazení grafů statistik

7.3 Podrobný popis určitých funkcí a algoritmů

V této části se bakalářská práce zabývá, popisem jednotlivých funkcí a algoritmů. Je zde popsána funkcionality jednotlivých částí programu a co jednotlivé části programu dělají. Vybrané funkce demonstrují co nejširší záběr, který jak knihovna tak i platforma TRADFRI, ale i technologie ZigBee schopna nabídnout. Tyto části programu jsou tedy stěžejní částí praktické části bakalářské práce.

7.3.1 Navázání spojení s domácí stanicí

Metoda na obrázku č. 15, je metoda třídy Tradfri, která se nachází v projektu webové aplikace jako model. V metodě je uložena proměnná typu string IP adresy zařízení, která je v případě této práce staticky rezervována pomocí DHCP serveru. Dále se uchovává proměnná typu string s názvem aplikace. Následující příkaz spustí konstruktor třídy Kontrolér Tradfri v ovládací

knihovně. Konstruktor vytvoří instance všech kontrolérů, zmiňovaných v kapitole č. 6.3, opět pomocí konstruktoru a tyto instance naplní sám sebou. V zakomentované části se nachází kód, který žádá domácí stanici o vygenerování klíče specifického pro název aplikace, který se zasílá jako parameter do metody společně s klíčem, který je na etiketě zespoďu domácí stanice. Tento klíč na domácí stanici zaručuje, že se k domácí stanici připojí pouze oprávněná osoba, v tomto případě tedy osoba mající fyzický přístup k zařízení. Tento řádek je tedy zakomentován z důvodu toho, že domácí stanice generuje k názvu aplikace pouze jeden kód a při opětovné žádosti pod stejným názvem aplikace toto bere jako bezpečnostní útok. Dále se tedy aplikace přihlašuje již pod vygenerovaným klíčem, který je uložený v aplikaci. Pomocí kontroléru Tradfri a jeho metody ConnectAppKey s parametry uloženého klíče a názvu aplikace se aplikace připojí k domácí stanici.

```
1 reference
private void ConnectTradfri()
{
    string applicationName = "TradfriApp";
    string ipAddress = "192.168.0.120";

    _controller = new TradfriController("GatewayName", ipAddress);

    //TradfriAuth appSecret = controller.GenerateAppSecret("g2UdYvToI3HTkMva", applicationName);

    string savedPSK = "DiY3jfls2iJo0Ndj";

    _controller.ConnectAppKey(savedPSK, applicationName);
}
```

Obrázek 15: Metoda ConnectTradfri pro připojení k domácí stanici

7.3.2 Nalezení všech zařízení a uložení do paměti

Na obrázku č. 16 se nachází metoda pro načtení všech zařízení připojených k domácí stanici. Do metody se načte již vytvořený Tradfri kontrolér, který se vytvořil pomocí metody ConnectTradfri a z něho se následně zavolá kontrolér zařízení a pomocí něho se metodou GetDeviceObject načtou zařízení podobě objektu do dynamického pole. Další úlohou této metody je přiřazení pozorovatele ke každému zařízení. Toto přiřazení proběhne procházením celého pole pomocí cyklu Foreach a v něm se následně ověřuje, zdali je zařízení typu světla nebo jiného zařízení, v tomto případě typu zásuvky. Toto opatření je zde z důvodu rozdílného ukládání světla a zásuvky do logovacího souboru. Pro toto opatření se používá statická metoda kontroléru zařízení HasControl pro zásuvku a HasLight pro světlo, do kterých se jako parametr posílá právě vybrané zařízení cyklem foreach. Pozorovatel během jakéhokoliv časového bodu v průběhu programu spustí metodu pro zapsání stavu zařízení do logovacího souboru. Pro světlo je to metoda LightSaveToFile a pro zařízení typu zásuvka je to metoda OutletSaveToFile. V těchto metodách se nachází jednoduchý kód pro zapsání do soubory formátu CSV, do kterého se zapíše přesné datum a čas zápisu, iden-

tifikační číslo příslušného zařízení, stav, do jakého bylo zařízení uvedeno a následně odřádkování, pro následné jednoduché čtení jednotlivých zápisů po řádcích metodou v následující kapitole.

```
2 references
public async Task ResetDevices()
{
    Tradfri _tr = Tradfri.Get();

    DeviceController deviceController = Tradfri.Get().GetTradfriController().DeviceController;

    var _devices = await _tr.GetGatewayController().GetDeviceObjects();

    devices.Clear();

    foreach (var device in _devices)
    {
        TradfriDevice dev = device;
        devices.Add(dev);
        if (DeviceController.HasControl(device))
        {
            deviceController.ObserveDevice(device, OutletSaveToFile);
        }
        if (DeviceController.HasLight(device))
        {
            deviceController.ObserveDevice(device, LightSaveToFile);
        }
    }
}
```

Obrázek 16: Metoda ResetDevice pro načtení všech zařízení z domácí stanice

7.3.3 Vytvoření statistiky z logovacího souboru

Na metody LightSaveToFile a OutletSaveToFile navazuje metoda CreateStatistics, která, jak už z názvu metody vyplývá, tvoří statistiku z logovacího souboru formátu CSV a nachází se na obrázku č. 17. Tato metoda alokuje dvě dynamická pole, která jsou v programu definovaná jako globální proměnné, a to pro data a odpovídající názvy zařízení. Pomocí smyčky foreach program iteruje skrze všechny zařízení, které jsou nahrány v paměti programu a podmínkou if prochází pouze zařízení typu světla nebo zásuvky. V podmínce se následně přidá název zařízení do pole pro názvy a do pole pro data se zavolá metoda GetTime.


```

3 references
public static async Task CreateStatistics()
{
    statData = new List<int>();
    statDevices = new List<string>();

    foreach (var device in devices)
    {
        if (DeviceController.HasLight(device) || DeviceController.HasControl(device))
        {
            statDevices.Add(device.Name);
            statData.Add(GetTime(device.ID));
        }
    }
}

```

Obrázek 17: Metoda CreateStatistics pro vytvoření statistik

V metodě GetTime, viz obrázek č. 18, je parametrem přijímáno identifikační číslo zařízení, pro které se v této metodě počítá celkový čas, kdy se zařízení nacházelo ve stavu sepnuto. Metoda definuje proměnné typu DateTime s názvy StartDate a EndDate a další pomocné proměnné timeOverall typu double pro uchovávání dosavadního vypočítaného celkového času, proměnnou typu string s názvem Line pro uchování posledního přečteného řádku v souboru a pomocnou proměnnou typu bool s názvem State pro uchování stavu, který se musí najít jako další.

Třídou StreamReader se načte logovací soubor, následně se smyčkou while prochází soubor po řádcích až do konce souboru. Každý řádek se metodou Split rozdělí do čtyř částí oddělovačem, v tomto případě znakem středník a rozdělené části se uloží do pole typu string s názvem Words v seřazeném pořadí, tak jako byli napsány v souboru. Na nulté pozici v poli se tedy nachází datum, na pozici jedna se nachází čas, na pozici dva se nachází identifikační číslo zařízení a na poslední tedy třetí pozici se nachází stav, do jakého bylo zařízení uvedeno. Tento algoritmus počítá čas pouze pro jedno zařízení, proto prochází jednotlivé řádky, dokud nenajde řádek s požadovaným identifikačním číslem. Následně je při prvním průchodu smyčkou while nastavena základní hodnota proměnné State na hodnotu False, algoritmus tedy hledá řádek, kde je stav zařízení True. Po nalezení odpovídajícího řádku se načte datum a čas do proměnné StartDate a proměnná State se nastaví na opačnou hodnotu tedy True. V dalším průběhu smyčkou se tedy bude hledat řádek ve stavu False, po jehož nalezení se do proměnné EndDate načte datum a čas nalezeného řádku a vypočítá se rozdíl v sekundách pomocí metody TotalSeconds mezi proměnnými EndDate a StartDate. Tento výsledek se pak následně přičte k pomocné proměnné timeOverall. Po přečtení celého souboru se přetypuje proměnná timeOverall na typ int a je poslána jako výstup metody. Tato metoda je zavolána na každé zařízení připojené k domácí stanici.

```

1 reference
private static int GetTime(long ID)
{
    double timeOverall = 0;
    string line;
    bool state = false;
    DateTime EndDate = DateTime.Now;
    DateTime StartDate = DateTime.Now;

    System.IO.StreamReader file =
    new System.IO.StreamReader(LogFile);
    while ((line = file.ReadLine()) != null)
    {
        string[] words = line.Split(';');

        if (long.Parse(words[2]) == ID)
        {
            if ((words[3]) == "True" && state == false)
            {
                StartDate = DateTime.Parse(words[0] + " " + words[1]);
                state = true;
            }
            if ((words[3]) == "False" && state == true)
            {
                EndDate = DateTime.Parse(words[0] + " " + words[1]);
                state = false;
                timeOverall += (EndDate - StartDate).TotalSeconds;
            }
        }
    }
    file.Close();
    return (int)timeOverall;
}

```

Obrázek 18: Metoda GetTime pro výpočet celkového času konkrétního zapnutého zařízení

7.3.4 Přenos dat z aplikace

Pro přenesení vygenerovaných dat pro statistiku, je použito řetězení JSON, která je následně zaslána na prohlížeč klienta. Tento přenos je vyžádán ze strany klienta pomocí technologie AJAX. Tato technologie přenáší data z webového serveru i po načtení webové stránky a může webovou stránku změnit, aniž by byla manuálně obnovena. Je to technologie kombinující programovací jazyk JavaScript a značkový jazyk XML. Tato kombinace může být obohacena o řetězení JSON, jako v případě této praktické části.

JavaScript funkce AJAX se volá při načtení webové stránky a je volána na metodu v kontroléru webové aplikace. Metoda nejdříve vygeneruje data a štítky potřebné pro vykreslení grafu a následně jsou tyto data zřetězena a zaslána zpět do funkce v JavaScriptu. Funkce přijatý řetězec JSON převede do typu pole, které se zašle jako parametr ve funkci pro vygenerování grafu.

7.4 Další možnosti rozšíření aplikace

V této kapitole bude naznačeno, kterým směrem by mohla být implementace rozšířena a jak by mohla být obohacena.

Grafické rozhraní webové aplikace by mohlo být dále obohaceno pomocí JavaScriptu o interaktivní náhled, kde by si uživatel mohl měnit rozpoložení dlaždic jednotlivých zařízení, či rozpoložení celých skupin a seřadit si toto grafické rozhraní podle svých potřeb a preferencí, pro co nejjednodušší a nejefektivnější ovládání své domácí chytré sítě.

Dále by knihovna umožňovala rozšíření programu, tak aby si uživatel mohl skrze grafické rozhraní editovat jednotlivé zařízení a skupiny, zejména přejmenovávat zařízení a skupiny. Tato funkce v této implementaci byla používána skrze originální aplikaci dodávanou s domácí stanicí TRÅDFRI.

Při dalším rozšiřování grafického rozhraní by si uživatel mohl například vybrat z různých grafických šablon nebo si vytvořit svoji vlastní šablonu a rozdělit barvy jednotlivým zařízením podle své libosti. Programová část implementace by také mohla být rozšířena na další druhy zařízení, které by se daly připojit a ovládat rozdílným způsobem jako se ovládá chytrá zásuvka nebo chytrá žárovka.

Pro jednotlivé skupiny (místnosti), se aplikace může rozšířit tak, aby byly jednotlivé skupiny ovládány najednou, bez potřeby uživatele nastavovat každé zařízení zvlášť. Toto centrální nastavení by se mohlo ukládat do tzv. nálad a mezi těmito nastaveními by se jednoduše přepínalo, pro získání vždy stejného nastavení efektivním způsobem.

Pro ostré nasazení v praxi by tato aplikace mohla být umístěna na serveru, ale pro jednoduchost a cenovou dostupnost by bylo nejjednodušším řešením instalace zařízení typu Raspberry Pi. Na tento server by nejdříve musel být nainstalován webový server s podporou pro ASP.NET a následně by byla aplikace funkční. Výhodou tohoto zařízení je jak pořizovací cena, tak i následující cena na údržbu, zejména spotřeba elektrické energie.

8 Zhodnocení platformy

V této části práce shrne všechny přednosti a nedostatky platformy TRÅDFRI a technologie ZigBee a tuto technologii porovná s přímou konkurencí, jako je WiFi, Z-Wave a Bluetooth.

8.1 Zhodnocení platformy TRÅDFRI

Jak už bylo řečeno v předchozích kapitolách, tato platforma je vyvíjena firmou IKEA. Je tedy navržena tak aby se za co nejmenší cenu dostala do co nejvíce domácností, což tato platforma splňuje a je na trhu nejlevnější v porovnání s konkurencí jako je např. platforma Philips HUE, která je až o 100 % dražší, než je platforma TRÅDFRI. Ale i přes to je to platforma nejrozšířenější po celém světě. Tyto platformy se díky standardu ZigBee mohou doplňovat a kombinovat dohromady.

Za cenu, za kterou je tato platforma TRÅDFRI nabízena, nabízí obrovský výkon a určitě nezaostává za svou konkurencí, ba naopak díky své ceně svou konkurenci i předbíhá. Co se týká hodnocení vzhledu hardwaru, tak ten je až podezřele podobný své konkurenci a jeho kvalita je také podobná, takže se uživatel necítí, že by si kupoval levnou alternativu. Díky těmto vlastnostem si uživatel může pokrýt větší část své domácnosti za stejné finanční náklady, než by byl schopen u konkurence.

Domácí stanice a všechny zařízení této platformy, mají dostatečný dosah na pokrytí bytu o rozloze cca $80m^2$, ve kterém byla tato platforma v rámci této práce testována, bez potřeby opakovače, který by tento dosah rozšířil. Opakovač by byl v domácím prostředí nutný až v případě dvouposchodového domu nebo v případě rozšíření této platformy i na zahradní plochu.

Tato platforma je tedy vhodná do každé domácnosti, ať už velkého rozlehlého domu, malého bytu, ve kterém se nebude komunikace rušit s komunikací stejné platformy u sousedů, kanceláří v komerčních prostorách.

Pro velké prostory, jako jsou továrny, je tato platforma nevhodná a vyžadovala by veliké přizpůsobení jak z hardwarového hlediska, tak úpravy ovládacího softwaru. Zde by nebyla vhodnější ani konkurence od značky Philips, ale byla by zapotřebí úplně odlišná platforma, která by sice fungovala na standardu ZigBee, ale byla by od začátku vyvíjena s touto myšlenkou. Platforma TRÅDFRI není schopna připojování velkých průmyslových zařízení, strojů, průmyslových světel atp. Z této platformy by pro tyto účely mohli být použity maximálně ovládací prvky jako jsou tlačítka nebo pohybové senzory a zbytek zařízení by se musela připojovat pomocí přizpůsobených ovládacích prvků.

Dalším nedostatkem platformy TRÅDFRI oproti konkurenční platformy Philips HUE, je absence RGB pásků a různých designových RGB lamp. Tyto lampy jsou ale velice předražené, přestože pouze plní funkci estetického osvětlení a nejsou vhodné pro užití jako primární světelný zdroj. Pokud by toto zařízení uživateli platformy TRÅDFRI chybělo, díky komunikaci napříč rozdílnými platformami, si může zařízení jednoduše dokoupit a obohatit si tak svou chytrou domácnost.

Ačkoliv si k platformě TRÅDFRI, může uživatel připojit jakékoliv světelné chytré zařízení, je tato platforma ošizená o zařízení jako je např. termostat, sensor teploty, sensor otevřených dveří či oken, senzor vytopení atp. Tyto zařízení by se dala k domácí stanici připojit, ale aplikace není připravena na tokové typy zařízení a zařízení by buď ignorovala, nebo by zařízení zobrazila, ale nebyla by nabídnuta žádná funkcionality pro ovládání nebo získávání informací. Tato problematika by se mohla vyřešit dalším rozšířením praktické části této bakalářské části.

8.2 Zhodnocení standardu ZigBee

Tento standard byl primárně vytvořen pro přenesení komunikace ze standardu WiFi, který je přeplněný sám o sobě a další rozšiřování chytrých domácích zařízení by jenom tomuto standardu přitížilo. Standard ZigBee byl tedy navržen tak, aby byl schopen registrovat až desetitisíce zařízení. Celkové množství je však omezeno robustností a výkonem celé sítě. Komunikace probíhá na odlišných frekvencích, než používá standard WiFi, čímž je zaručena vzájemná koexistence systému v jednom prostředí.

Nejlepší uplatnění má standard ZigBee v aplikacích, kde je třeba přenos malého množství dat mezi mnoha zařízeními. Díky komunikaci zařízení pouze v omezených časových úsecích, je zaručena minimální spotřeba elektrické energie a zařízení fungující na tužkových baterkách vydrží bez jakékoliv údržby v jednotkách roků. Jednotlivá koncová zařízení nemusí mít tedy přístup k elektrické rozvodové síti, z čehož vyplývá jednoduchá a nenákladná instalace a do budoucna jednoduchá údržba.

Jelikož jsou všechna zařízení stavěna jako nízko výkonová zařízení, bezpečnost přenosu je mezi zařízeními zaručena mnohačetným posláním stejné informace, podle kterých přijímací zařízení zjistí, jestli dostalo správnou informaci. V případě přenosu správné informace je zaslána zpětná zpráva, že byl přenos úspěšný. A v případě, kdy nebyla informace přenesena správně, je požádáno zaslání informace znovu. Původní zařízení tedy ví, jestli byla informace přenesena.

Z hlediska fyzické komunikace dále standard zaručuje komunikaci napříč různými platformami, účastník tedy nemusí být vázaný jenom na jednoho výrobce a může svou chytrou domácí síť rozšiřovat a nemusí vytvářet samostatné sítě pro každou platformu jiného výrobce.

Porovnání s konkurenčním standardem Z-Wave, který plní stejnou funkci. ZigBee je otevřeným standardem oproti Z-Wave, který je uzavřeným standardem. Ačkoliv má Z-Wave dosah přes jeden kilometr oproti dosahu sto metrů u standardu ZigBee mezi jednotlivými zařízeními, komunikace Z-Wave může v síti typu mesh projít pouze čtyřmi zařízeními a pokud během těchto čtyř skoků komunikace nedojde k domácí stanici tak bude komunikace přerušena a ztracena. Kdežto v případě standardu ZigBee je dosah kompenzovaný nekonečným počtem skoku mezi zařízeními v síti typu mesh. ZigBee vyžaduje také mnohem méně elektrické energie oproti Z-Wave a tak je zaručena mnohem delší bezúdržbová životnost jednotlivých zařízení.

Standard Z-Wave je tedy vhodný pro komunikaci malého množství zařízení, ale na dlouhé vzdálenosti. A standard ZigBee je vhodný pro komunikaci velkého množství zařízení na relativně krátké vzdálenosti.

Dalším standardem, vedle kterého se ZigBee nachází je Bluetooth, které je také navrženo pro relativně malé datové přenosy oproti WiFi, ale je navrženo pouze pro komunikaci mezi malým počtem zařízení, v řádech jednotek zařízení. Bluetooth je ale určeno pro komunikaci mezi mobilním zařízením, počítačem a jejich periferiemi, jako jsou např. sluchátka, myš, klávesnice, bezdrátový reproduktor, handsfree v automobilech atp. Dosah tohoto standardu se pohybuje v desítkách metrů.

9 Závěr

Bakalářská práce je rozdělena do třech částí. První část se zabývá obecným popisem chytré domácnosti, co by se v chytré domácnosti mohlo vyskytovat a jaké využití, výhody a nevýhody chytrá domácí síť přináší. Druhá část této práce se zabývá podrobným popisem standardu ZigBee, technickými parametry a jak tento standard funguje. Třetí část této práce obsahuje popis praktické části, a to popis používané knihovny v jazyce .NET a následná implementace této knihovny v projektu pro demonstraci možností této knihovny.

Chytrá domácí síť je vhodná pro efektivnější ovládání domácích spotřebičů nebo skupiny takových spotřebičů. Toto ovládání může díky internetu probíhat odkudkoliv, kde má uživatel přístup k internetu. Dále byla stručně popsána platforma TRÅDFRI. Byly popsány jednotlivé zařízení, které tato platforma nabízí a k jakým účelům by se jednotlivé zařízení mohli využít.

Nejdůležitější částí bakalářské práce byla implementace webové aplikace, zobrazující všechna zařízení registrovaná v domácí stanici a jejich jednotlivá ovládání, jako je např. zapnutí a vypnutí chytré žárovky nebo zásuvky, změna intenzity jasu nebo barvy u chytré žárovky a ovládání celé skupiny pomocí simulace ovládacího tlačítka, které je registrované v konkrétní skupině.

V rámci praktické části byla prostudovaná knihovna dostupná na platformě GitHub od uživatele tomidix, pomocí které se komunikuje s domácí stanicí platformy ZigBee a nabízí množství příkazů, které lze zasílat na domácí stanici pomocí protokolu CoAP. Tento protokol je odlehčenou verzí protokolu HTTP/HTTPS, konkrétně vyvinut pro komunikaci nízkonákladových, tedy výkonově slabých zařízení po síti.

V další praktické části byla implementována komunikace webového prohlížeče se serverem, pomocí technologie AJAX a serializačního formátu JSON, díky kterým byla přenášena data potřebná pro zobrazení statistik v grafech, jmenovitě časy udávající celkové časy jednotlivých zařízení ve stavu zapnuto.

V závěru bakalářské práce byla zhodnocena jak platforma TRÅDFRI, tak i standard ZigBee, který byl dále porovnán s konkurenčními standardy jako je Z-Wave, WiFi a Bluetooth. Z tohoto porovnání bylo zjištěno, že standard ZigBee je výhodný, protože je to otevřený standard, je méně energeticky náročný, a i přes kratší přenosové vzdálenosti mezi jednotlivými zařízeními, má tento standard větší celkový dosah díky síti typu mesh, která jednotlivé přenosy řetězí dokud nejsou přeneseny až do domácí stanice.

Literatura

1. HARPER, Richard. *Inside the smart home*. 1st Edition. London: Springer-Verlag London Limited, 2003. ISBN 1852336889.
2. SVĚTELNÉ ZDROJE SVÍTIDLA ÚSPORNÁ SVĚTELNÁ ŘEŠENÍ. 2020: SVĚTELNÉ ZDROJE SVÍTIDLA ÚSPORNÁ SVĚTELNÁ ŘEŠENÍ, 2020. Dostupné také z: <https://www.nbb.cz/loxone>.
3. HENDRICKS, Drew. *IoT Evolution*. Shelton: IoT Evolution, 2014. Dostupné také z: <https://www.iotevolutionworld.com/m2m/articles/376816-history-smart-homes.htm>.
4. GISLASON, Drew. *Zigbee wireless networking*. 1st Edition. Amsterdam: Elsevier / Newnes, c2008. ISBN 9780750685979.
5. *Zigbee Alliance*. Davis: Zigbee Alliance, 2020. Dostupné také z: <https://zigbeealliance.org/>.
6. SOMANI, Nisha Ashok. Zigbee: A Low Power Wireless Technology for Industrial Applications. *International Journal of Control Theory and Computer Modeling*. 2012-05-31, roč. 2, č. 3, s. 27–33. ISSN 22491155. Dostupné z DOI: 10.5121/ijctcm.2012.2303.
7. NIELSON, Hanne Riis; PROBST, Christian W. (ed.). *Proceedings of The 13. Nordic Workshop on Secure IT Systems, NordSec 2008, Kongens Lyngby Oct 9-10, 2008*. Technical University of Denmark, DTU Informatics, Building 321, 2008. D T U Compute. Technical Report, č. 2008-14.
8. *A Hands-on Experience with Wireless Sensor Networks (#handsonwsn)*. California: P2PU, 2015. Dostupné také z: https://courses.p2pu.org/en/courses/831/content/1739/?fbclid=IwAR0qFTtQysdb8LpbaYS0xca9U6T6B6QMGvaN1lH31i_mprHqVockI4FkkVU.
9. CARLOS-MANCILLA, Miriam; LOPEZ-MELLADO, Ernesto; SILLER, Mario. Wireless Sensor Networks Formation: Approaches and Techniques. *Journal of Sensors*. 2016-03, roč. 2016, s. 1–18. Dostupné z DOI: 10.1155/2016/2081902.
10. MATHIESEN, Mogens; THONET, Gilles; AAKVAAG, Niels. WIRELESS AD-HOC NETWORKS FOR INDUSTRIAL AUTOMATION: CURRENT TRENDS AND FUTURE PROSPECTS. 2007-03.
11. JELIČ, Pavel. *Letem Světem Applem*. Brno: Text Factory, 9. 7. 2019. Dostupné také z: <https://www.letemsvetemapplem.eu/2019/07/09/rada-chytrych-produktu-tradfri-od-ikea-se-dockala-novinek/>.
12. TOMIDIX; DOMJANCIK. *C# Tradfri Library*. Tomidix, 2017-03. Verze 1.0. Dostupné také z: <https://github.com/tomidix/CSharpTradFriLibrary>.
13. BORMANN, Carsten. *RFC 7252 Constrained Application Protocol*. Bremen: Center for Computing Technologies (TZI), 2016. Dostupné také z: <https://coap.technology/>.

14. *Constrained Application Protocol*. Bangalore: Devopedia.org, 2018. Dostupné také z: <https://devopedia.org/constrained-application-protocol>.
15. *JSON - Introduction*. Norway: W3.CSS., 2015. Dostupné také z: https://www.w3schools.com/js/js_json_intro.asp.
16. ČÁPKA, David. *MVC architektura*. Praha: Itnetwork.cz, 2016. Dostupné také z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/mvc-architektura-navrhovy-vzor>.

Přílohy

Příloha A - soubor ZIP obsahující projekt Visual Studio